red studio redazionale, via Volta 43, 22100 Como, © 1996
Traduzione di Augusto Sabbadini (Shantena) dall'originale inglese
Wholeness and the Implicate Order, David Bohm © 1980.
Coordinamento di Paolo Giomo

I edizione 1996

DAVID BOHM

UNIVERSO MENTE MATERIA

COMUNE DI BOLOGNA
BIBLIOTECA
SALA BORSA

red edizioni

Una rivoluzione culturale mancata

di Augusto Sabbadini (Shantena)

Alla fine dell'Ottocento la fisica sembrava ben avviata verso una trionfale comprensione di tutti i fenomeni da essa studiati. I principi teorici (meccanica, elettromagnetismo, termodinamica) sembravano solidamente stabiliti e la loro formulazione aveva raggiunto un alto grado di eleganza matematica. Anche la loro applicazione all'interpretazione e alla previsione di risultati sperimentali continuava a mietere spettacolari successi. Si aveva quasi l'impressione che il grande lavoro creativo fosse ormai compiuto e che ai fisici delle generazioni future non restasse altro compito che riempire i dettagli di un quadro già tracciato nelle sue grandi linee. È vero, alcuni problemini relativamente marginali erano ancora ostinatamente insoluti e indubbiamente costituivano dei nèi in questo quadro fondamentalmente luminoso. Ma ci si poteva ragionevolmente attendere che non avrebbero resistito a lungo all'assalto dei potenti mezzi della fisica.

Uno di questi piccoli nèi era il cosiddetto problema dello 'spettro del corpo nero'. Sostanzialmente si trattava di questo. Un corpo caldo irraggia energia di varie frequenze (raggi infrarossi, luce visibile, se è molto caldo, eccetera). Sommando l'energia di tutte le frequenze si trovava che l'irraggiamento totale doveva essere infinito, cosa che veniva detta 'catastrofe ultravioletta' e che manifestamente contraddiceva le più elementari osservazioni sperimentali. Nell'anno 1900, lavorando su questo problema, Max Planck ebbe un 'colpo di fortuna' matematico: sommando l'energia irraggiata da un corpo caldo in pacchetti discreti, cioè in 'quanti' di energia, anziché in modo continuo, l'irraggiamento infinito scompariva. Né Planck né i suoi col-

leghi, all'epoca, si resero conto che questa elegante, sorprendente, e dapprima relativamente incomprensibile soluzione della 'catastrofe' del corpo nero apriva la via a una catastrofe di proporzioni ben più vaste: quella dell'intera fisica che essi conoscevano e, alla lunga, di un'intera visione del mondo basata sul concetto di 'cose', oggetti reali concretamente esistenti localizzati nello spazio e nel tempo.

La rivoluzione contenuta *in nuce* nel risultato di Planck raggiunse il suo pieno sviluppo un quarto di secolo più tardi. Fra il 1920 e il 1930 la 'fisica dei quanti' assunse sostanzialmente la sua fisionomia definitiva, che resta a tutt'oggi la struttura portante della nostra comprensione del mondo atomico e subatomico. Nello stesso tempo esplose anche il dibattito sui problemi interpretativi, sui paradossi e sulle conseguenze filosofiche della nuova teoria. Un paradosso, non della fisica quantistica ma della storia del pensiero, è il fatto che, benché siano passati quasi settant'anni (la durata media della vita umana!) da quegli eventi e benché la tecnologia basata su quegli sviluppi sia penetrata in ogni aspetto della nostra vita quotidiana, la rivoluzione concettuale che essi hanno portato nella fisica non ha ancora sostanzialmente toccato il nostro modo di pensare in generale. La visione che abbiamo di noi stessi e del mondo è ancora sostanzialmente basata sulla fisica del secolo scorso. Non solo, ma i modelli della fisica classica ottocentesca, mentre perdevano validità in seno alla fisica, estendevano vittoriosamente la loro influenza ad altre discipline scientifiche: per esempio la biologia, dove continuano a dominare il modo di pensare della maggior parte dei ricercatori, e la psicologia, dove alcune correnti risentono fortemente di modelli fisici che nel loro proprio ambito sono divenuti obsoleti. Insomma, sembra esserci un'enorme distanza fra l'immagine complessa, problematica, fluida della realtà che la fisica moderna suggerisce e la visione relativamente solida, concreta e statica che tuttora organizza i nostri rapporti con gli esseri umani e con la natura.

Ci sono varie ragioni che spiegano questo fatto. Una è indubbiamente la natura problematica, suscettibile di molteplici interpretazioni e altamente 'non intuitiva' della visione

che la fisica quantistica ci propone. Questa problematicità fa sì che, fra gli stessi fisici, la maggior parte si accontenti di utilizzare l'enorme potenza dello strumento matematico fornito dalla teoria, accantonando il problema di comprenderne le implicazioni filosofiche. Ma questa rinuncia, come David Bohm sottolinea, è un'immensa perdita. Bohm è stato uno di quegli spiriti appassionati che non si sono accontentati di contribuire in senso tecnico allo sviluppo della fisica, ma si è interrogato continuamente sui grandi problemi di fondo della conoscenza e dell'esistenza, i grandi problemi che si aprono sul mistero di chi siamo, da dove veniamo, dove andiamo, cos'è questa stupenda e inafferrabile realtà in cui siamo immersi. Adottare un atteggiamento pragmaticamente tecnico, abdicando al compito infinito di comprendere la realtà nel suo complesso, significa, secondo Bohm, lasciare che visioni del mondo superficiali e meccaniche riempiano il vuoto lasciato dalle vecchie metafisiche e governino il nostro modo di rapportarci a noi stessi, agli altri esseri umani e alla natura. In questo senso la mancata 'rivoluzione culturale' della fisica quantistica è forse veramente una catastrofe, nel senso ordinario e rovinoso del termine.

Le riflessioni sulla natura della realtà suggerite dalla fisica moderna presentano una naturale contiguità con il pensiero mistico di ogni tempo. Ne sono testimoni, fra l'altro, gli scritti di molti fisici illustri, fra cui Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Einstein, Pauli, Eddington e lo stesso Bohm, che è stato a lungo amico e discepolo del maestro indiano J. Krishnamurti, uno dei più straordinari mistici contemporanei. Non stupisce perciò che, al di fuori dell'ambito della fisica (e in parte della filosofia), la rivoluzione quantistica sia stata recepita soltanto da alcune correnti del pensiero New Age, della parapsicologia e dell'esoterismo. L'uso che ne è stato fatto in questi ambiti, tuttavia, è spesso superficiale e fantascientifico e a volte riflette piuttosto una sorta di nuova ideologia che una vera trasformazione del pensiero. Da questo punto di vista David Bohm è invece di un esemplare rigore. Egli è rimasto fino in fondo rigorosamente scienziato e il suo lavoro è un contributo sostanziale alla corrente prin-

leghi, all'epoca, si resero conto che questa elegante, sorprendente, e dapprima relativamente incomprensibile soluzione della 'catastrofe' del corpo nero apriva la via a una catastrofe di proporzioni ben più vaste: quella dell'intera fisica che essi conoscevano e, alla lunga, di un'intera visione del mondo basata sul concetto di 'cose', oggetti reali concretamente esistenti localizzati nello spazio e nel tempo.

La rivoluzione contenuta *in nuce* nel risultato di Planck raggiunse il suo pieno sviluppo un quarto di secolo più tardi. Fra il 1920 e il 1930 la 'fisica dei quanti' assunse sostanzialmente la sua fisionomia definitiva, che resta a tutt'oggi la struttura portante della nostra comprensione del mondo atomico e subatomico. Nello stesso tempo esplose anche il dibattito sui problemi interpretativi, sui paradossi e sulle conseguenze filosofiche della nuova teoria. Un paradosso, non della fisica quantistica ma della storia del pensiero, è il fatto che, benché siano passati quasi settant'anni (la durata media della vita umana!) da quegli eventi e benché la tecnologia basata su quegli sviluppi sia penetrata in ogni aspetto della nostra vita quotidiana, la rivoluzione concettuale che essi hanno portato nella fisica non ha ancora sostanzialmente toccato il nostro modo di pensare in generale. La visione che abbiamo di noi stessi e del mondo è ancora sostanzialmente basata sulla fisica del secolo scorso. Non solo, ma i modelli della fisica classica ottocentesca, mentre perdevano validità in seno alla fisica, estendevano vittoriosamente la loro influenza ad altre discipline scientifiche: per esempio la biologia, dove continuano a dominare il modo di pensare della maggior parte dei ricercatori, e la psicologia, dove alcune correnti risentono fortemente di modelli fisici che nel loro proprio ambito sono divenuti obsoleti. Insomma, sembra esserci un'enorme distanza fra l'immagine complessa, problematica, fluida della realtà che la fisica moderna suggerisce e la visione relativamente solida, concreta e statica che tuttora organizza i nostri rapporti con gli esseri umani e con la natura.

Ci sono varie ragioni che spiegano questo fatto. Una è indubbiamente la natura problematica, suscettibile di molteplici interpretazioni e altamente 'non intuitiva' della visione

che la fisica quantistica ci propone. Questa problematicità fa sì che, fra gli stessi fisici, la maggior parte si accontenti di utilizzare l'enorme potenza dello strumento matematico fornito dalla teoria, accantonando il problema di comprenderne le implicazioni filosofiche. Ma questa rinuncia, come David Bohm sottolinea, è un'immensa perdita. Bohm è stato uno di quegli spiriti appassionati che non si sono accontentati di contribuire in senso tecnico allo sviluppo della fisica, ma si è interrogato continuamente sui grandi problemi di fondo della conoscenza e dell'esistenza, i grandi problemi che si aprono sul mistero di chi siamo, da dove veniamo, dove andiamo, cos'è questa stupenda e inafferrabile realtà in cui siamo immersi. Adottare un atteggiamento pragmaticamente tecnico, abdicando al compito infinito di comprendere la realtà nel suo complesso, significa, secondo Bohm, lasciare che visioni del mondo superficiali e meccaniche riempiano il vuoto lasciato dalle vecchie metafisiche e governino il nostro modo di rapportarci a noi stessi, agli altri esseri umani e alla natura. In questo senso la mancata 'rivoluzione culturale' della fisica quantistica è forse veramente una catastrofe, nel senso ordinario e rovinoso del termine.

Le riflessioni sulla natura della realtà suggerite dalla fisica moderna presentano una naturale contiguità con il pensiero mistico di ogni tempo. Ne sono testimoni, fra l'altro, gli scritti di molti fisici illustri, fra cui Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Einstein, Pauli, Eddington e lo stesso Bohm, che è stato a lungo amico e discepolo del maestro indiano J. Krishnamurti, uno dei più straordinari mistici contemporanei. Non stupisce perciò che, al di fuori dell'ambito della fisica (e in parte della filosofia), la rivoluzione quantistica sia stata recepita soltanto da alcune correnti del pensiero New Age, della parapsicologia e dell'esoterismo. L'uso che ne è stato fatto in questi ambiti, tuttavia, è spesso superficiale e fantascientifico e a volte riflette piuttosto una sorta di nuova ideologia che una vera trasformazione del pensiero. Da questo punto di vista David Bohm è invece di un esemplare rigore. Egli è rimasto fino in fondo rigorosamente scienziato e il suo lavoro è un contributo sostanziale alla corrente prin-

cipale del pensiero fisico moderno. Ma nello stesso tempo non ha rinunciato a essere filosofo e uomo che si interroga sul senso dell'esistenza.

Ho incontrato David Bohm due volte e le circostanze di quegli incontri sono in qualche modo significative delle valenze scientifica, filosofica e spirituale della sua ricerca. La prima volta a Varenna, verso la fine degli anni Sessanta, a un congresso sui fondamenti della fisica quantistica. Erano incontri tecnici, per addetti ai lavori, benché i problemi filosofici vi occupassero un posto importante. Vari anni dopo, quando ormai da tempo non mi occupavo più attivamente di fisica, l'ho ritrovato ad Alpbach, in Tirolo, all'inizio degli anni Ottanta. Questa volta era una conferenza su scienza e spiritualità: erano presenti il Dalai Lama, religiosi cristiani e monaci zen. Era ancora lo stesso inconfondibile David Bohm, rigoroso, articolato, preciso fino alla pignoleria, e insieme con quell'aria goffa, innocente e vagamente spaesata che lo faceva corrispondere tanto bene all'immagine popolare del classico scienziato.

Il grande problema da cui il lavoro di Bohm prende le mosse è quello dell'indeterminazione quantistica. Quando i 'quanti' di energia di Planck si furono sviluppati in una teoria fisica (relativamente) compiuta e coerente, divenne immediatamente evidente che la 'realtà' descritta dalla nuova teoria aveva caratteristiche quanto meno insolite. In essa le particelle che costituiscono la materia non sono pensabili come piccoli oggetti in movimento nello spazio, ma si presentano piuttosto come 'nuvole di probabilità' di eventi, che un processo di misura va a sondare e fa 'precipitare' in un evento ben definito. Se osserviamo, per esempio, la posizione di un elettrone (o di una qualsiasi altra particella), non possiamo immaginare che l'elettrone sia già localizzato in un certo punto dello spazio prima della misura. Esso è invece in un certo senso diffuso, sparpagliato, più addensato in certe regioni, meno in altre, si trova in una 'sovrapposizione' di stati localizzati in punti diversi. La sua posizione è perciò indeterminata. Ma non appena si esegue una misura della posizione, l'elettrone 'precipita' in una posizione ben definita. Lo stesso vale per qualsiasi altra grandezza osservabile e per ogni altro sistema microscopico.

La natura di questa indeterminazione quantistica merita qualche parola di chiarimento, per distinguerla da un altro tipo di indeterminazione che ci è molto più familiare. Una suggestiva metafora per illustrare questa distinzione è utilizzata da Sven Ortoli e Jean-Pierre Pharabod nel libro *Il cantico dei quanti* (Theoria, Roma, 1992), che è un'ottima introduzione ai problemi filosofici della fisica quantistica. Immaginiamo uno stagno fangoso in cui stiamo pescando. Nello stagno nuota un pesce, ma non siamo in grado di vederlo perché l'acqua è torbida. A un certo punto il pesce abbocca. Solleviamo la canna e lo vediamo attaccato all'amo. In una situazione del genere supponiamo naturalmente che, un attimo prima di abboccare, sia venuto a trovarsi precisamente nel punto in cui c'era l'amo. Fino a un attimo fa non eravamo in grado di dire dove si trovasse: la sua posizione era per noi in un certo senso indeterminata. Ma non si trattava di una indeterminazione intrinseca, irriducibile. Essa era legata soltanto a un'incompleta informazione da parte nostra su una realtà che era in se stessa determinata.

Per capire alcune considerazioni che farò in seguito è utile tradurre queste cose nel linguaggio della statistica. La statistica si serve di un artificio concettuale, che consiste nell'immaginare un gran numero di sistemi identici, distribuiti in tutti gli stati compatibili con le informazioni di cui disponiamo. La nostra ignoranza si riflette allora nel fatto che non sappiamo dire precisamente con quale dei sistemi dell'insieme abbiamo a che fare.

Nel nostro caso, possiamo immaginare un gran numero di stagni identici con dentro l'identico pesce in tutte le posizioni possibili. Finché il pesce non abbocca, non sappiamo precisamente con quale degli stagni possibili abbiamo a che fare. Ma ciò non toglie che in ciascuno stagno possibile il pesce occupi una posizione ben definita. L'insieme degli stagni possibili si ripartisce in sottoinsiemi di stagni in cui il pesce occupa la stessa posizione. Quando il pesce abbocca, sappiamo a quale sottoinsieme appartiene lo stagno reale in cui stiamo pescando. Tutto questo è molto naturale. Immaginiamo ora che il pesce sia una particella quantistica e la canna, la lenza e l'amo siano un apparec-

COMUNE DI BOLOGNA
BIBLIOTECA
SALA BORSA

chio che ne misura la posizione. Anche in questo caso, finché non eseguiamo la misura, la posizione del pesce è indeterminata. Ma si tratta di un'indeterminazione diversa e più radicale. Piuttosto che a un pesce normale, la particella assomiglia a un 'pesce solubile', che, prima di abboccare, si trova diffuso in tutto lo stagno, più densamente in certi punti, meno densamente in altri. L'indeterminazione della sua posizione non è soltanto una carenza di informazione da parte nostra. Se di nuovo pensiamo statisticamente e immaginiamo un insieme di stagni identici, questa volta non c'è modo di ripartire l'insieme in sottoinsiemi di stagni con una posizione del pesce ben determinata. L'insieme è assolutamente omogeneo, rappresenta uno 'stato puro': in ciascuno degli stagni possibili il pesce è disciolto in tutto lo stagno. La situazione non è ulteriormente riducibile. Dove è più addensato abbiamo più probabilità di pescarlo, dove è meno addensato ne abbiamo meno. Ma la sua posizione è intrinsecamente indeterminata. Ciononostante, miracolosamente, nel momento in cui il 'pesce solubile' viene pescato la sua natura diffusa istantaneamente si condensa e 'precipita' in un pesce reale, perfettamente localizzato, appeso all'amo.

Si tratta in verità di uno stato di cose assai strano. Un primo fondamentale problema che esso solleva è come esattamente avvenga questa 'precipitazione' del pesce solubile in pesce reale. È questo il cosiddetto 'problema della misura' nella fisica quantistica, che ha tormentato (ed entusiasmato) generazioni di fisici teorici e che rimane a tutt'oggi insoluto. I tentativi di soluzione si possono dividere, grosso modo, in due grandi classi, che potremmo chiamare 'idealista' e 'materialista'.

Secondo la soluzione 'idealista', proposta per la prima volta in forma rigorosa da von Neumann negli anni Trenta, la precipitazione del pesce solubile in pesce reale avviene nel momento in cui lo vediamo attaccato all'amo e precisamente per effetto dell'intervento della nostra coscienza di osservatori. In questa linea di pensiero si ammette che in se stessa la presa di coscienza da parte di un osservatore, indipendentemente da ogni processo materiale, agisca sulla realtà fisica. Si tratta indubbiamente di una scelta estrema

e per giunta di un tipo non particolarmente congeniale ai fisici. Possiamo immaginare che von Neumann e gli altri che l'hanno seguito siano stati indotti ad adottarla soltanto da certe gravi difficoltà della soluzione 'materialista', a cui accennerò fra breve. Ma, se la soluzione 'materialista' presenta serie difficoltà matematiche, la soluzione 'idealista' presenta difficoltà filosofiche che non sono da meno. Cosa succede infatti se eseguiamo una misura senza che un osservatore vada a leggerne il risultato? Succede che, dal punto di vista idealista, l'apparecchio di misura stesso viene a trovarsi in una situazione indeterminata, in una sovrapposizione di stati insieme al sistema microscopico osservato. Per esempio, se la nostra canna da pesca fosse dotata di un dispositivo di sollevamento automatico quando il pesce abbocca, verrebbe a trovarsi in una sovrapposizione di stati 'sollevata con pesce' e 'non sollevata senza pesce'. Da ciò discendono paradossi di ogni genere. Il più famoso è forse il 'gatto di Schrödinger'.

Immaginiamo di avere un gatto rinchiuso in una scatola e un certo dispositivo automatico che, quando l'apparecchio di misura dà un certo risultato (per esempio, quando la canna è sollevata), uccide il gatto, mentre quando si ha un risultato diverso non lo uccide. Allora, finché un osservatore non guarda nella scatola, il gatto viene a trovarsi in una sovrapposizione di stati di vita e di morte. Oltre ai 'pesci solubili' (che, ricordiamo, sono per ipotesi sistemi quantistici microscopici, non direttamente percettibili), veniamo ad avere un 'gatto solubile' (che invece è un vero gatto, che si può vedere e toccare), simultaneamente vivo e morto. Se poi la scatola è dotata di un dispositivo di apertura automatico, uno dei due stati sovrapposti del gatto (quello vivo) può uscire e andarsene in giro, causando ogni sorta di altre 'conseguenze solubili' (mentre l'altro stato giace morto nella scatola). Tutto questo finché la coscienza di un osservatore non interviene a far precipitare l'intera catena di eventi indeterminati in un senso o nell'altro. Si tratta evidentemente di una situazione da pazzi e questo tipo di soluzione, benché non manchi di sostenitori illustri, non gode di molto credito presso la maggioranza dei fisici.

Molto più gradita ai fisici sarebbe una soluzione 'materialista' del problema della misura, che legasse la precipi-

tazione della sovrapposizione di stati all'interazione fra sistema microscopico e apparecchio di misura, indipendentemente dall'intervento di un qualsiasi osservatore (o, in altre parole, attribuisse la condensazione del pesce solubile al processo fisico con cui viene pescato, indipendentemente dal fatto che qualcuno guardi o meno). Disgraziatamente una soluzione di questo tipo presenta formidabili difficoltà. La ragione di fondo di ciò è che lo stato diffuso del pesce solubile e quello condensato del pesce reale sono fra loro radicalmente disomogenei: un'evoluzione temporale che abbia certe ragionevoli proprietà non riesce a far passare dall'uno all'altro stato. Si possono dimostrare certi risultati di equivalenza approssimata, ma un passaggio rigoroso fra i due stati non è compatibile con certe assunzioni di fondo della fisica quantistica. La precipitazione del pesce solubile resta a tutt'oggi un mistero.

Malgrado gli immensi successi pratici della fisica quantistica, questi dilemmi e paradossi portarono fin dall'inizio alcuni fisici a mettere in dubbio il carattere fondamentale della teoria. Fra questi lo stesso Einstein, che era stato insieme a Planck uno dei precursori della fisica quantistica. L'insoddisfazione di Einstein nei confronti della fisica quantistica era radicale: l'esistenza stessa di un'indeterminazione irriducibile, la concezione del mondo subatomico fatto di 'pesci solubili', gli appariva insoddisfacente. Il suo commento che «Dio non gioca a dadi» è rimasto famoso. È vero, al livello studiato dalla fisica quantistica indiscutibilmente le cose si comportano come pesci solubili, anziché come pesci reali. Ma non potrebbe esservi un livello sottostante, per ora sconosciuto, in cui le cose tornano a comportarsi ragionevolmente? Questa ipotesi di un livello sottostante alla fisica quantistica, dotato di un comportamento determinato, va sotto il nome di ipotesi, o teoria, dei 'parametri nascosti'. Il senso del nome risulta chiaro se pensiamo agli insiemi di stagni identici di cui abbiamo parlato. Dal punto di vista della fisica quantistica ogni sottoinsieme di un insieme di stagni identici in cui nuota il pesce solubile è equivalente all'insieme di partenza (la posizione del pesce è altrettanto indeterminata). Ma se esistessero altri parametri, per ora nascosti, diversi dalle grandezze della fisica quantistica, che individuano la posizione del pesce? Gli insiemi 'irriducibili' considerati dalla fisica quantistica non sarebbero allora realmente irriducibili e l'indeterminazione quantistica rifletterebbe soltanto il fatto che, poiché non abbiamo accesso a questi altri parametri, ogni insieme che siamo in grado di considerare è una miscela statistica di situazioni con diversi valori dei parametri (e quindi con diverse posizioni del pesce).

Questo è l'approccio a cui David Bohm ha dato un contributo fondamentale. Un primo grande passo del suo lavoro in questo senso è consistito nel costruire concretamente un contro-esempio a un famoso teorema dimostrato da von Neumann, che affermava l'impossibilità di ogni teoria a parametri nascosti. Bohm ha mostrato che le teorie a parametri nascosti sono possibili e perciò che l'indeterminazione quantistica non è inevitabilmente e in linea di principio irriducibile. Ha mostrato che possiamo immaginare una teoria più fondamentale, sottostante alla fisica quantistica, con caratteristiche molto diverse da essa. Ma è interessante notare subito che non si tratta di una restaurazione del buon senso ordinario, offeso dalle stranezze della fisica quantistica. Se la speranza che sosteneva i primi tentativi di teorie a parametri nascosti negli anni Trenta era quella di ritrovare un solido e ben ordinato mondo di 'cose', localizzate nello spazio e nel tempo, dotate di proprietà ben definite e di un'ordinata logica aristotelica, in cui una cosa è 'A' o 'non A', quella speranza è definitivamente tramontata. No, la realtà sottostante alla fisica quantistica che Bohm suggerisce è più complessa di così, e anche più interessante.

Una sua caratteristica fondamentale è l'unità di tutta la realtà. In questa visione l'esistenza separata di oggetti e soggetti, osservatori e sistemi osservati, è solo un'approssimazione pratica, che vale eslusivamente a un certo livello ed entro certi limiti. Già la teoria della relatività per certi versi suggeriva una visione unitaria della realtà, in termini di campi estesi attraverso tutto lo spaziotempo. La fisica quantistica rafforza questa visione, in quanto in essa sistemi che abbiano interagito fra loro a un certo istante restano per sempre inseparabilmente accoppiati. Nella teoria di Bohm

la visione unitaria della realtà diviene ancora più radicale: i singoli sistemi, le particelle o gli insiemi di particelle, non esistono affatto. Essi non sono pensabili come enti separati interagenti fra loro. Sono piuttosto simili a immagini che si formano e si disfano in un caleidoscopio, o a vortici che si formano e si disfano nella corrente di un fiume. I vortici esistono solo temporaneamente e sono solo una realtà in una certa misura fittizia e arbitraria ritagliata nel flusso continuo della corrente. La sola realtà ultima è la corrente indivisibile del movimento universale. In seno a questo movimento esistono vari livelli di ordine, in generale 'implicati', ripiegati all'interno della corrente, non percettibili dai nostri sensi. Ma il flusso ininterrotto del movimento porta continuamente alcuni aspetti a dispiegarsi, a divenire 'esplicati' o manifesti, percettibili, per poi tornare a immergersi nel tutto, mentre altri aspetti implicati emergono e divengono esplicati. La fisica classica, quella che studia gli oggetti macroscopici, percettibili dai nostri sensi, prende in considerazione solo il livello esplicato o manifesto del movimento della realtà. Questo livello non è ovviamente autonomo, non è retto da una legge propria: esso dipende in primo luogo dal livello sottostante, che è quello studiato dalla fisica quantistica. Ma neppure quest'ultimo, dice Bohm, rappresenta una descrizione autonoma della realtà, poiché dipende da livelli implicati ancora più profondi. Il passaggio da 'pesce solubile' a 'pesce reale', per esempio, è incomprensibile al livello della fisica quantistica perché entrambe le forme, 'pesce solubile' e 'pesce reale', sono soltanto aspetti emergenti di una realtà implicata sottostante ed è in questa realtà implicata sottostante che va cercata la legge del loro movimento.

A che punto siamo, oggi, rispetto a questa profonda problematica, che riguarda la nostra concezione stessa della realtà? Lo sviluppo recente forse più rilevante parte da un elegante teoremino dimostrato da J.S. Bell nel 1964. Quello di Bell è un esercizio relativamente semplice di teoria degli insiemi, che è la teoria con cui oggi viene introdotta la matematica nelle scuole elementari: eppure le sue conseguenze, quando viene applicato alla fisica quantistica, sono importantissime. Come ho accennato sopra, la fisica

quantistica prevede che, quando due sistemi, per esempio particelle subatomiche o atomi, interagiscono fra loro e poi si separano, le loro proprietà restino correlate in maniera inscindibile. I due sistemi continuano di fatto a costituire un unico sistema, i cui stati 'intrecciano' fra loro gli stati dell'uno e dell'altro sistema. (È questo il cosiddetto 'paradosso di Einstein, Podolski e Rosen' o 'paradosso EPR'. Per maggiori dettagli in merito, così come per una descrizione dell'idea generale degli esperimenti di cui dirò fra poco, *vedi* i paragrafi 4.3, 5 e 13 del quarto capitolo di questo libro.) Bell ha dimostrato che, se possiamo considerare i due sistemi come oggetti reali, dotati di proprietà ben definite, le misure eseguite su di essi dopo la separazione devono soddisfare una certa disuguaglianza. La fisica quantistica invece vìola questa disuguaglianza. Siamo dunque allo scontro frontale fra l'universo del buon senso ordinario, fatto di 'cose', e il mondo fantasmagorico della fisica quantistica, fatto di 'pesci solubili'.

È possibile sottoporre la questione a una verifica sperimentale, decidere praticamente chi ha ragione? In sé l'esperimento è piuttosto semplice, salvo per un aspetto, che è problematico. Perché il confronto sia veramente significativo, dobbiamo essere certi che le particelle, una volta separate, non siano più in grado di scambiarsi 'messaggi' fra di loro. Anche quando, secondo le conoscenze di oggi, non c'è nessuna interazione evidente che le colleghi, non possiamo escludere l'esistenza di una qualche interazione sconosciuta. A meno di eseguire le misure tanto rapidamente che le particelle non abbiano tempo di inviarsi un segnale senza superare la velocità della luce.

Realizzato in questo modo, l'esperimento mette alla prova tutta una classe di teorie possibili, quella delle cosiddette teorie 'realistico-locali'. Cioè: se il mondo è fatto di oggetti reali con proprietà ben definite e capaci di interagire fra loro solo con segnali che non superino la velocità della luce, delle misure eseguite su sistemi separati nello spazio che si susseguano tanto rapidamente da non permettere uno scambio di informazione fra i due sistemi devono necessariamente soddisfare la disuguaglianza di Bell. La fisica quantistica (che non è una teoria realistico-locale), come ho detto, vìola questa disuguaglianza. Per vari anni l'esecuzione

di misure tanto veloci ha rappresentato un formidabile problema tecnico. Ma all'inizio degli anni Ottanta (poco dopo l'uscita di questo libro) esperimenti di questo tipo sono diventati fattibili. Essi sono stati eseguiti più volte ed è ormai praticamente certo che la disuguaglianza di Bell viene violata. Sembra dunque che il mondo non sia descrivibile per mezzo di teorie realistico-locali. In altre parole: a meno che esistano interazioni che si propagano più velocemente della luce, possiamo affermare con ragionevole certezza che il mondo non è fatto di 'cose' localizzate nello spazio e dotate di proprietà oggettive.

Oggi non siamo in grado di dire se la teoria di Bohm degli ordini implicati possa essere sviluppata in maniera completa e se possa essere confermata sperimentalmente. Gli esperimenti sul paradosso EPR (sulla disuguaglianza di Bell) dimostrano inequivocabilmente che, se c'è qualcosa che sta oltre, o sotto il livello di realtà della fisica quantistica, questo qualcosa non può soddisfare i criteri del realismo classico, bensì dev'essere piuttosto del tipo dell'ordine implicato di Bohm. Anche per la teoria dell'ordine implicato, tuttavia, i risultati degli esperimenti sul paradosso EPR comportano certe difficoltà, secondo Bohm non insuperabili.

In ogni caso la teoria di Bohm rappresenta oggi il più interessante e promettente tentativo di andare oltre la fisica quantistica, verso una teoria radicalmente nuova. Essa apre una via di ricerca e solo il futuro ci dirà se e quanto essa sia percorribile e proficua. Ma già allo stato attuale delle cose essa porta un contributo importante sia alla fisica sia al pensiero in generale.

Un contributo importante di Bohm alla fisica, al di là dei contenuti specifici della sua teoria, sta nel fatto di aver mostrato come, anche quando un paradigma scientifico (per esempio quello della fisica quantistica) è trionfante e domina le menti di generazioni di scienziati al punto da apparire dotato di validità del tutto universale, sia comunque possibile rileggere i fatti in una chiave diversa, cogliendone altri aspetti rilevanti e vedendo in essi un ordine diverso. In questo modo i 'fatti' stessi (che, Bohm ci ricorda, non sono dati oggettivi indipendenti dalla nostra visione della realtà, bensì sono prodotti dal 'fare' umano) si trasformano: una nuova visione suggerisce nuovi fatti e nuovi esperimenti. La conoscenza, dal punto di vista di Bohm, è un processo infinito e fluido (come la realtà stessa). L'errore fondamentale, a qualsiasi stadio, consiste nello scambiare il contenuto delle nostre rappresentazioni per una descrizione ultima della realtà.

Ma il senso e l'influenza del lavoro di Bohm va oltre l'ambito strettamente scientifico. Come ho accennato sopra, il nostro pensiero e lo stile del nostro agire riflettono una metafisica vecchia. Un appassionato invito che Bohm rivolge ai lettori di questo libro è quello di pensare in modo nuovo, in modo più coerente con l'immagine fluida della realtà che emerge dalla fisica moderna. Le caratteristiche principali del nuovo modo di pensare sono una visione radicalmente unitaria del tutto e una radicale mobilità di ogni forma di conoscenza. Il vecchio pensiero si riferisce a un mondo fatto di cose separate e oggettivamente esistenti. La sua struttura, così come la struttura del linguaggio che lo esprime, contiene una funzione di frammentazione, di separazione, di divisione. Un mondo che si pensa in questo modo è un mondo diviso: un mondo in cui ogni essere umano è separato da sé, dagli altri esseri umani, da tutte le altre forme di vita e dal resto della natura. Questo pensiero ha inoltre un carattere di fissità, di apparente oggettività, che ce lo fa apparire come una descrizione fedele delle cose 'così come sono'. Si tratta di una nefasta illusione: la realtà è fluida e indivisa. Ed è importante che il pensiero rifletta questo carattere della realtà.

La nostra epoca è caratterizzata da una distanza particolarmente grande fra la potenza dei 'giocattoli' tecnologici di cui disponiamo, frutto di un pensiero scientifico-tecnico raffinato, e lo sviluppo della nostra sensibilità e della nostra visione del mondo in senso più generale. Un pensiero che tende a frammentare le cose e a perdere di vista la totalità ha conseguenze limitate finché gli strumenti di cui dispone sono limitati. Ma quando la portata di questi strumenti diviene veramente globale, è cruciale che il pensiero che ne guida l'uso subisca una corrispondente evoluzione. L'approccio di David Bohm e la metafora degli ordini implicati esercitano già una notevole influenza su certe cor-

renti di pensiero contemporanee. Questo libro è un invito a far sì che un modo di pensare fluido e capace di cogliere la fondamentale unità di tutta l'esistenza permei anche il nostro vivere quotidiano e contribuisca a creare un mondo più armonioso.

Augusto Sabbadini (Shantena) è stato ricercatore in fisica dal 1968 al 1976. Si è laureato a Milano con una tesi sulla teoria della misura nella fisica quantistica, cioè sullo stesso spinoso problema dell'interfaccia fra la nostra ordinaria descrizione macroscopica dei fenomeni e la descrizione microscopica quantistica da cui Bohm prende le mosse in questo libro. Ha contribuito alla formulazione di una teoria, alternativa a quella di Bohm, che tende a una soluzione indipendente dall'esistenza di un livello sottostante alla fisica quantistica. In seguito ha lavorato sul problema dell'esistenza dei buchi neri in astrofisica relativistica presso l'Università della California. Attualmente lavora nell'editoria e tiene corsi di meditazione.

UNIVERSO, MENTE, MATERIA

Introduzione

Questo libro è una collezione di saggi che rappresentano lo sviluppo del mio pensiero nel corso degli ultimi vent'anni. Una breve introduzione può forse servire a indicare i problemi principali che esso tratta e le loro connessioni.

Direi che nel mio lavoro scientifico e filosofico ciò che mi ha sempre interessato più di ogni altra cosa è il tentativo di comprendere la natura della realtà in generale, e della coscienza in particolare, come un tutto coerente, mai statico o completo, bensì in perenne movimento e sviluppo. Retrospettivamente mi rendo conto che fin da bambino ero affascinato dall'enigma, anzi dal mistero, della natura del movimento. Quando *pensiamo* a qualsiasi cosa, ce la rappresentiamo come statica o come una serie di immagini statiche. Nell'esperienza reale del movimento *sentiamo* invece un processo indiviso di flusso, in rapporto al quale le immagini statiche del pensiero sono come una sequenza di istantanee di un'automobile in corsa. Naturalmente il problema nella sua essenza è stato sollevato oltre duemila anni fa dai paradossi di Zenone; ma a tutt'oggi non si può dire che abbia trovato una soluzione soddisfacente.

C'è poi l'ulteriore problema del rapporto fra pensiero e realtà. Un'attenta osservazione mostra che il pensiero stesso è in effetti un processo di movimento. Nel 'flusso di coscienza' percepiamo uno scorrere non dissimile da quello che cogliamo nel movimento della materia in generale. Non può darsi che il pensiero faccia dunque parte della totalità della realtà? Ma allora che cosa significa dire che una parte della realtà ne 'conosce' un'altra e in che misura ciò è possibile? E il contenuto del pensiero deve necessariamente limitarsi a darci delle 'istantanee' astratte e semplificate della realtà, o può spingersi oltre e in qualche modo afferrare l'es-

senza stessa del movimento vivente che sentiamo nell'esperienza reale?

È chiaro che riflettendo sulla natura del movimento, sia nel pensiero sia nell'oggetto del pensiero, si giunge inevitabilmente al problema dell'intero o della totalità. L'idea che colui che pensa (l'Io) sia almeno in linea di principio completamente separato e indipendente dalla realtà a cui pensa è saldamente radicata in tutta la nostra tradizione. (In Occidente questa separazione è un concetto quasi universalmente accettato. L'Oriente invece tende a negarla a parole e filosoficamente, mentre in pratica essa pervade la vita quotidiana della gente tanto quanto in Occidente.) Esperienze del tipo a cui ho accennato e una notevole mole di moderne conoscenze scientifiche sulla natura e sul funzionamento del cervello come organo del pensiero suggeriscono fortemente che una tale divisione non sia coerentemente sostenibile. Questo fatto ci propone una sfida molto difficile: come possiamo pensare in maniera coerente un'unica, ininterrotta, fluida realtà dell'esistenza come un tutto, che contenga in sé sia il pensiero (la coscienza) sia la realtà esterna così come la percepiamo?

Chiaramente questo mette in gioco la nostra complessiva *visione del mondo*, che comprende i nostri concetti generali sulla natura della realtà e quelli che riguardano l'ordine globale dell'universo, cioè la *cosmologia*. Per permetterci di affrontare la sfida che abbiamo di fronte, la nostra concezione cosmologica e della natura generale della realtà dev'essere abbastanza ampia da poter abbracciare una descrizione coerente della coscienza. Viceversa la nostra concezione della coscienza deve essere abbastanza ampia da permetterci di comprendere il fatto che il suo contenuto è la 'realtà come un tutto'. Insieme i due gruppi di concetti devono permetterci allora di capire come realtà e coscienza siano fra loro in relazione.

Naturalmente queste sono domande enormi e probabilmente non avranno mai una risposta definitiva e completa. Ma mi è sempre sembrato importante che vi fosse un continuo esame delle proposte miranti ad affrontare questa grande sfida. Naturalmente, la tendenza dominante nella scienza moderna è stata finora contraria ad un'impresa cosiffatta, dirigendosi piuttosto verso previsioni teoriche relativamente dettagliate e concrete che offrissero almeno la speranza di qualche applicazione pratica. Perciò mi sembra necessario spiegare perché scelgo di muovermi in una direzione che è tanto nettamente controcorrente rispetto ai tempi.

A parte quello che sento come l'interesse intrinseco di domande tanto fondamentali e profonde, vorrei a questo proposito richiamare l'attenzione sul problema generale della frammentazione della coscienza umana, di cui parleremo nel capitolo 1. In quelle pagine viene proposto che una delle cause fondamentali delle diffuse e interminabili divisioni fra esseri umani (in termini di razza, nazione, famiglia, professione, eccetera), che impediscono attualmente all'umanità di lavorare insieme per il bene comune (e in verità anche solo per la sopravvivenza), sia un tipo di pensiero che tratta le *cose* come intrinsecamente separate, sconnesse e divise in parti costituenti ancora più piccole, ciascuna delle quali viene considerata come essenzialmente indipendente ed autonomamente esistente.

Quando l'essere umano si pensa in questo modo, inevitabilmente tende a difendere i bisogni del suo 'Io' contro quelli degli altri; o, se si identifica con un gruppo, tende a difendere gli interessi del gruppo nello stesso modo. Non riesce a concepire seriamente l'umanità come la realtà fondamentale, le cui esigenze sono prioritarie. Anche quando cerca di prendere in considerazione i bisogni dell'umanità, tende a considerare l'umanità separata dalla natura, e così via. Ciò che propongo qui è che il modo in cui l'essere umano pensa la totalità, cioè la sua visione generale del mondo, è di cruciale importanza per l'ordine complessivo della sua mente. Se pensa la totalità in termini di frammenti indipendenti, la sua mente tende a operare in modo corrispondente. Ma, se riesce a includere coerentemente e armoniosamente tutto in una totalità indivisa, senza fratture e senza confini (perché ogni confine è una divisione, una frattura), la sua mente tenderà a muoversi di conseguenza e da ciò fluirà un'azione ordinata all'interno del tutto.

Naturalmente, come ho già accennato, la nostra visione generale del mondo non è il *solo* fattore importante in questo contesto. Occorre prendere in considerazione molti altri fattori, come le emozioni, le attività fisiche, le relazioni

umane, l'organizzazione sociale, eccetera. Ma, forse perché non abbiamo attualmente alcuna visione coerente del mondo, tendiamo a ignorarne quasi completamente l'importanza psicologica e sociale. Io sostengo che una corretta visione del mondo, adatta al suo tempo, è uno dei fattori essenziali per l'armonia sia nell'individuo sia nella società complessivamente.

Nel capitolo 1 viene illustrato il fatto che l'esigenza di una nuova, non frammentaria, visione del mondo nasce in seno alla scienza stessa, in quanto l'analisi del mondo in parti indipendentemente esistenti non funziona bene nella fisica moderna. Viene mostrato che, sia nella teoria della relatività sia nella teoria quantistica, concetti che riflettano l'indivisa interezza dell'universo forniscono un modo molto più ordinato di concepire la natura generale della realtà.

Nel capitolo 2 esaminiamo il ruolo del linguaggio nel riprodurre la frammentazione del pensiero. La struttura soggetto-verbo-oggetto delle lingue moderne implica che ogni azione abbia origine in un soggetto separato e si riversi su un oggetto separato o riflessivamente sul soggetto stesso. Questa struttura onnipresente genera in ogni aspetto della vita una tendenza a dividere la totalità dell'esistenza in entità separate, considerate come essenzialmente fisse e statiche. Ci chiediamo allora se sia possibile sperimentare nuove forme linguistiche, in cui il ruolo fondamentale spetti al verbo, anziché al nome. Tali forme avranno come contenuto una serie di azioni che fluiscono e si fondono l'una nell'altra, senza separazioni o fratture nette. Sia nella forma sia nel contenuto il linguaggio sarà allora in armonia con il movimento indiviso dell'esistenza nel suo insieme.

La proposta qui non è tanto quella di un nuovo linguaggio come tale, quanto di un nuovo *modo* di utilizzare il linguaggio esistente: il 'rheomodo' (modo fluido). E lo scopo non è tanto quello di fornire un nuovo mezzo espressivo da utilizzare nelle comunicazioni pratiche, quanto quello di aiutarci a comprendere, attraverso la sperimentazione linguistica, la funzione di frammentazione che opera nel linguaggio ordinario.

Nel capitolo 3 gli stessi temi vengono riesaminati in un diverso contesto. Il capitolo comincia osservando come la realtà possa essere considerata essenzialmente un insieme

di forme in un sottostante movimento o processo universale; e si chiede come sia possibile concepire nello stesso modo la conoscenza umana. In tal modo apriamo la via ad una visione del mondo in cui coscienza e realtà non siano separate. La discussione ci conduce a rappresentarci la nostra visione generale del mondo come un movimento complessivo del pensiero, che dev'essere attuabile nel senso che da esso fluiscano attività in armonia sia fra loro sia con la totalità dell'esistenza. Questa armonia è possibile solo se la visione del mondo stessa partecipa a un processo infinito di sviluppo, evoluzione e dispiegamento, combaciante con il processo universale che è il fondamento di tutta l'esistenza.

I tre capitoli seguenti sono un po' più tecnici e matematici. Ma buona parte di essi dovrebbe essere comprensibile anche al lettore non tecnico, in quanto le parti tecniche non sono del tutto necessarie alla comprensione del discorso, benché lo arricchiscano di contenuto per coloro che sono in grado di seguirle.

Il capitolo 4 affronta il problema dei parametri nascosti nella teoria quantistica. La teoria quantistica è attualmente l'approccio più fondamentale in fisica per comprendere le leggi universali riguardanti la materia ed il suo movimento. In quanto tale, chiaramente essa merita di essere presa seriamente in considerazione in ogni tentativo di sviluppare una visione del mondo complessiva.

La teoria quantistica, così come è attualmente strutturata, ci offre una grande sfida, se l'impresa ci interessa: essa non contiene alcuna concezione coerente della realtà sottostante alla costituzione e struttura universale della materia. Se ci serviamo della visione del mondo prevalente, basata sul concetto di particella, scopriamo che le 'particelle' (per esempio gli elettroni) possono manifestarsi anche come onde, che possono muoversi in maniera discontinua e che non esistono leggi che descrivano precisamente il movimento effettivo delle singole particelle, bensì si possono fare solo previsioni statistiche riguardanti insiemi di molte particelle. Se, d'altro canto, applichiamo la visione del mondo che rappresenta l'universo come un campo continuo, troviamo che questo campo dev'essere anche discontinuo, corpuscolare e che il suo comportamento effettivo

è altrettanto indeterminato quanto è richiesto dalla visione corpuscolare della materia.

Sembra dunque che ci troviamo di fronte a una profonda e radicale frammentazione, oltre che a una completa confusione, se cerchiamo di rappresentarci la realtà descritta dalle nostre leggi fisiche. Attualmente i fisici tendono a evitare questo problema adottando il punto di vista che la nostra visione complessiva della realtà abbia poca o nessuna importanza. Secondo questo punto di vista in fisica la sola cosa che conta è trovare equazioni matematiche che ci permettano di prevedere e controllare il comportamento di insiemi statistici di molte particelle. E questo programma non si ritiene giustificato solo in termini di utilità pratica e tecnica: è diventato invece un presupposto scontato di gran parte della ricerca nella fisica moderna che questo tipo di previsione e manipolazione sia tutto ciò a cui la conoscenza umana può aspirare.

Questo presupposto è in verità coerente con lo spirito generale dei nostri tempi. Ma la mia tesi principale in questo libro è che non possiamo fare semplicemente a meno di una visione complessiva del mondo. Il prezzo di questa rinuncia consiste nell'aggrapparci a qualsiasi visione del mondo (generalmente inadeguata) ci troviamo a portata di mano. Di fatto i fisici non riescono a occuparsi semplicemente di calcoli miranti a fornire previsioni e capacità di manipolazione: essi trovano necessario servirsi di *qualche* tipo di concetto generale della realtà, come l'idea di 'particelle che sono i mattoni di cui è fatto l'universo'. Solo che tali immagini sono oggi molto confuse (per esempio, le particelle si muovono discontinuamente e sono anche onde). Questo è un esempio di quanto forte e profondo sia nel nostro pensiero il bisogno di una *qualche* concezione della realtà, foss'anche frammentaria e confusa.

Io ritengo che l'appropriato ordine di funzionamento della mente richieda una comprensione di ciò che viene conosciuto non solo in termini formali, logici, matematici, ma anche in termini intuitivi, per immagini, attraverso le emozioni, l'uso poetico del linguaggio, eccetera. (Forse potremmo dire che in questo consiste l'armonia fra 'cervello sinistro' e 'cervello destro'.) Questo modo di pensare non è solo una feconda sorgente di nuove idee teoriche, ma è anche

necessario per il funzionamento armonioso della mente umana, che a sua volta può contribuire a rendere possibile una società ordinata e stabile. Ma, come indicato nei primi capitoli del libro, ciò richiede un continuo e fluido sviluppo della nostra concezione generale della realtà.

Il quarto capitolo del libro, perciò, cerca di *cominciare a sviluppare* una visione coerente del tipo di realtà che può essere alla base delle corrette previsioni matematiche della teoria quantistica. I tentativi descritti in questo capitolo sono stati accolti dalla comunità dei fisici in maniera un po' confusa, perché si tende a ritenere che una visione generale del mondo, se deve esistere, vada presa come la concezione 'rivelata' e 'definitiva' della natura della realtà. Il mio atteggiamento è invece fin dall'inizio quello che i nostri concetti relativi alla cosmologia ed alla natura generale della realtà siano in continuo sviluppo e che perciò possa essere necessario partire da idee che rappresentino anche solo un certo miglioramento rispetto a quanto esisteva prima. Di lì procederemo verso idee ancora migliori. Il capitolo 4 descrive i reali e gravi problemi che ogni tentativo di concepire in modo coerente la 'realtà quantistica' deve affrontare; e suggerisce un certo approccio preliminare alla loro soluzione in termini di parametri nascosti.

Il quinto capitolo esplora un diverso approccio agli stessi problemi. È un'indagine sui nostri concetti fondamentali di ordine. L'ordine nella sua totalità è evidentemente in ultima istanza indefinibile, in quanto pervade tutto ciò che siamo e facciamo (linguaggio, pensiero, emozioni, sensazioni, azioni, arti, attività pratiche, eccetera). In fisica, tuttavia, l'ordine fondamentale è da secoli quello definito dalle coordinate cartesiane (leggermente ampliato nella teoria della relatività in modo da includere le coordinate curvilinee). La fisica si è sviluppata enormemente nel frattempo e sono comparse molte caratteristiche radicalmente nuove, ma l'ordinamento fondamentale è rimasto essenzialmente immutato.

Le coordinate cartesiane si prestano bene all'analisi del mondo in parti separatamente esistenti (per esempio, particelle o elementi del campo). In questo capitolo, tuttavia, esaminiamo il concetto di ordine in modo più profondo e più generale e scopriamo che sia nella relatività sia nella

teoria quantistica l'ordine cartesiano introduce gravi contraddizioni e confusione. Ciò è dovuto al fatto che entrambe le teorie implicano che l'effettivo stato di cose sia un'indivisa unità dell'universo, piuttosto che un insieme analizzabile in parti indipendenti. Ma le due teorie hanno concetti d'ordine radicalmente diversi. In relatività, il movimento è continuo, causalmente determinato e ben definito. In meccanica quantistica esso è discontinuo, causalmente indeterminato e indefinito. Ciascuna delle due teorie è legata a una propria concezione di modi di esistenza essenzialmente statici e frammentari (la relatività al concetto di eventi separati, che possono essere fra loro collegati da segnali; la teoria quantistica a quello di stati quantici ben definiti). Si vede perciò che occorre una teoria di nuovo tipo, che abbandoni questi vincoli di base e tutt'al più ritrovi alcune caratteristiche essenziali delle vecchie teorie come forme astratte, derivabili da una realtà più profonda dove prevale il concetto di una totalità indivisa.

Nel capitolo 6 ci spingiamo oltre e cominciamo a sviluppare più concretamente un nuovo concetto di ordine che possa essere appropriato a un universo inseparabilmente unitario. È questo l'ordine *implicato* o *inviluppato*. Nell'ordine implicato, lo spazio ed il tempo non sono più i fattori dominanti che determinano i rapporti di dipendenza o indipendenza dei vari elementi. È invece possibile una connessione fondamentale di tipo completamente diverso fra gli elementi. Sulla base di questa connessione i nostri concetti ordinari di spazio e tempo, insieme con quello di particelle materiali separatamente esistenti, sono derivabili come forme astratte dall'ordine più profondo. Questi concetti ordinari appaiono di fatto in quello che chiamiamo l'ordine *esplicato* o *sviluppato*, che è una forma particolare e notevole contenuta nella totalità generale degli ordini implicati. Il capitolo 6 introduce l'ordine implicato in senso generale e un'appendice al capitolo ne fornisce una presentazione matematica.

Il settimo e ultimo capitolo del libro è invece una presentazione più ampia, benché non tecnica, dell'ordine implicato e del suo rapporto con la coscienza. Questo ci porta a indicare alcune direzioni per cercare di affrontare l'urgente sfida di sviluppare una cosmologia ed una concezione generale della natura della realtà appropriate al nostro tempo.

Infine, spero che la presentazione del materiale contenuto in questi saggi aiuti il lettore a cogliere come si è effettivamente sviluppato l'argomento stesso; in modo che la forma del libro sia, per così dire, un esempio di ciò che può significare il suo contenuto.

1

Frammentazione e unità

Il titolo di questo capitolo è 'Frammentazione e unità'. È particolarmente importante riflettere su questo tema, perché la frammentazione è oggi molto diffusa, non solo nella società, ma anche negli individui, e questo crea una sorta di generale confusione della mente, da cui nasce un'interminabile serie di problemi e che interferisce tanto gravemente con la nostra chiarezza di percezione da impedirci di risolvere la maggior parte di essi.

L'arte, la scienza, la tecnologia e il lavoro umano in generale sono divisi in specialità, ciascuna essenzialmente separata dalle altre. Insoddisfatti di questo stato di cose, gli studiosi hanno introdotto argomenti interdisciplinari che avevano la funzione di unire le specialità, ma che alla fin fine sono serviti soprattutto a introdurre altri frammenti separati. La società nel suo insieme si è sviluppata in modo tale da dividersi in nazioni separate e in vari gruppi religiosi, politici, economici, razziali, eccetera. Corrispondentemente l'ambiente naturale in cui viviamo è stato concepito come un aggregato di parti separatamente esistenti, sfruttabili da diversi gruppi di persone. E ogni singolo essere umano si è frammentato in un gran numero di compartimenti separati e in conflitto fra loro, determinati da desideri, scopi, ambizioni, affiliazioni, caratteristiche psicologiche, eccetera; a tal punto che si dà per scontato che un certo grado di nevrosi sia inevitabile, mentre i molti che valicano i limiti 'normali' di frammentazione sono classificati come schizoidi, paranoici, psicotici, eccetera.

L'idea che tutti questi frammenti esistano separatamente è evidentemente un'illusione e questa illusione non può fare altro che produrre interminabili conflitti e confusione. In verità il tentativo di vivere come se i frammenti fos-

sero realmente separati è la radice essenziale di una serie crescente di problemi estremamente urgenti ai quali ci troviamo di fronte oggi. Come ben sappiamo, questo modo di vivere ha prodotto l'inquinamento, la distruzione dell'equilibrio naturale, la sovrapopolazione, il disordine economico e politico mondiale e un ambiente fisicamente e mentalmente malsano per la maggior parte delle persone che lo abitano. Negli individui si è andato sviluppando un diffuso senso di impotenza e disperazione di fronte a quella che sembra essere una massa schiacciante di forze sociali disparate, al di là di ogni possibile controllo e perfino comprensione da parte di coloro che sono travolti da esse.

In una certa misura è sempre stato necessario ed appropriato per gli esseri umani dividere e separare le cose con il pensiero, in modo da ridurre i problemi a proporzioni gestibili. Se nel nostro lavoro tecnico pratico cercassimo di affrontare l'intera realtà tutta insieme, ci sentiremmo schiacciati. Perciò, per un certo verso, la creazione di discipline di studio particolari e la divisione del lavoro ha rappresentato un importante progresso. In epoca ancora più remota, la prima consapevolezza umana di una propria realtà non identica alla natura è stata anch'essa un passo cruciale. Tale consapevolezza ha reso possibile un'autonomia di pensiero che ha consentito agli esseri umani di trascendere i limiti naturali immediati, dapprima con l'immaginazione e infine anche nel lavoro pratico.

Tuttavia questa capacità umana di separarsi dall'ambiente e di dividere e distribuire le cose ha prodotto in ultima istanza una grande quantità di conseguenze distruttive e negative, perché gli esseri umani hanno perso la consapevolezza di quello che stavano facendo e hanno esteso il processo di divisione al di là dei limiti in cui esso era funzionale e appropriato. Essenzialmente il processo di divisione è un modo di *pensare le cose* comodo e utile soprattutto nella sfera delle attività pratiche, tecniche e funzionali (per esempio, serve a dividere un appezzamento di terreno in vari campi dove coltivare raccolti diversi). Tuttavia, quando l'essere umano applica questo modo di pensare più in generale al concetto che ha di se stesso e del mondo in cui vive (cioè alla sua visione del complesso sé-mondo), perde di vista il fatto che queste divisioni sono puramente un artifi-

zio utile e comodo e comincia a percepire sé e il suo mondo come effettivamente costituiti da frammenti separatamente esistenti. Guidato da una visione frammentaria del sé-mondo, l'essere umano agisce in modo tale da accentuare la frammentazione di se stesso e del mondo, cosicché tutto sembra corrispondere al suo modo di pensare. Ottiene così un'apparente conferma della propria visione frammentaria del sé-mondo, benché naturalmente trascuri il fatto che è lui stesso, agendo in maniera conforme al proprio pensiero, a produrre quella frammentazione che ora gli sembra esistere autonomamente, indipendentemente dalla sua volontà e dai suoi desideri.

Da tempo immemorabile gli esseri umani sono coscienti a qualche livello di questo stato di frammentazione apparentemente autonomo. Spesso essi hanno proiettato questa consapevolezza in miti che evocano un'antica 'età dell'oro', un tempo che avrebbe preceduto la frattura fra esseri umani e natura e fra uomo e uomo.

È istruttivo considerare il fatto che la parola inglese *health* (salute) deriva dalla radice anglosassone *hale*, che significa *whole*, 'intero'. Vale a dire che essere sano è essere intero; il che, io credo, equivale più o meno al significato dell'ebraico *shalem*. Anche *holy* (santo) deriva dalla stessa radice di *whole* (intero). Tutto questo indica che gli esseri umani hanno sempre sentito che l'unità, l'integrità è una qualità assolutamente necessaria a rendere la vita degna di essere vissuta. Eppure nel corso dei secoli essi hanno vissuto perlopiù nella frammentazione.

La domanda come si sia verificato tutto questo sicuramente richiede un'attenta e seria considerazione.

In questo capitolo concentreremo l'attenzione sul ruolo sottile ma cruciale svolto dalle nostre forme di pensiero nel sostenere la frammentazione e nel vanificare i nostri più profondi impulsi verso l'unità e l'integrità. Per dare concretezza al discorso parleremo in parte dell'attuale ricerca scientifica, che è un campo che mi è abbastanza familiare, senza dimenticare tuttavia, naturalmente, il significato globale dei problemi discussi.

Quello che sottolineeremo, prima riguardo alla ricerca scientifica e poi in un contesto più generale, è il fatto che la frammentazione viene continuamente riprodotta dall'a-

bitudine di pensiero quasi universale che tende a prendere il nostro pensiero per una 'descrizione del mondo così com'è'. Questa abitudine, in altre parole, considera il nostro pensiero come in corrispondenza diretta con la realtà oggettiva. Poiché il nostro pensiero è pervaso da differenziazioni e distinzioni, tendiamo a considerare queste divisioni come reali e a percepire e vivere il mondo come effettivamente suddiviso in frammenti.

La relazione fra il pensiero e la realtà che è oggetto del pensiero è in verità molto più complessa di una pura corrispondenza. Nella ricerca scientifica, per esempio, gran parte del nostro pensiero si sviluppa in termini di teorie. La parola 'teoria' deriva dal greco *theoria*, che ha la stessa radice di 'teatro' e ha a che fare con il 'guardare (o creare) uno spettacolo'. Perciò una teoria è fondamentalmente una forma di *insight*, una forma di intuizione, di percezione interna, un modo di guardare il mondo; non una forma di conoscenza di come sia il mondo.

Nei tempi antichi, per esempio, vi era la teoria che la materia celeste fosse fondamentalmente diversa dalla materia terrestre. In base a questa teoria si riteneva che fosse naturale per i corpi terrestri cadere, mentre era naturale per i corpi celesti, come la luna, restare sospesi nel cielo. Agli inizi dell'era moderna gli scienziati furono gradualmente indotti ad adottare il punto di vista che non vi fosse una differenza essenziale fra materia terrestre e materia celeste. Questo implicava naturalmente che anche un corpo celeste come la luna dovesse cadere; ma per lungo tempo gli scienziati non si resero conto di questa implicazione. Un giorno, in un lampo di intuizione, Newton vide che, come cade la mela, così cade la luna e in verità tutti i corpi, terrestri o celesti. Egli fu condotto così a formulare la teoria della gravitazione universale, secondo la quale tutti gli oggetti cadono verso vari centri (la Terra, il Sole, i pianeti, eccetera). Questo era un modo nuovo di *guardare* i cieli, in cui i movimenti dei pianeti non venivano più interpretati in termini del vecchio concetto di una differenza essenziale fra la materia celeste e la materia terrestre. Essi venivano invece studiati in termini di tassi di caduta della materia, celeste e terrestre, verso i relativi centri di attrazione; e, quando un movimento celeste non era spiegabile

in questo modo, si cercava un nuovo pianeta verso cui il corpo celeste fosse in caduta, e spesso lo si trovava, confermando così l'appropriatezza di questo modo di guardare.

L'intuizione di Newton funzionò molto bene per vari secoli. Ma a un certo punto (come le intuizioni greche che l'avevano preceduta) essa portò a risultati non chiari in nuovi ambiti di ricerca. In questi ambiti furono sviluppate nuove intuizioni, nuovi modi di guardare (la teoria della relatività e la teoria quantistica). Questi nuovi modi di guardare fornivano un'immagine del mondo radicalmente diversa da quella di Newton (benché naturalmente quest'ultima risultasse ancora valida in un ambito limitato). Se supponessimo che le teorie ci forniscono una vera conoscenza, corrispondente alla 'realtà così com'è', dovremmo concludere che la realtà corrispondeva alla teoria di Newton fin verso il 1900, dopo di che improvvisamente questa corrispondenza venne a mancare, mentre la verità venne a essere rappresentata dalla teoria della relatività e dalla teoria quantistica. Questa assurdità naturalmente non sorge se consideriamo le teorie soltanto come forme di percezione, che non sono né vere né false, bensì sono chiare in certi ambiti e poco chiare quando vengono estese al di là di essi. Questo non significa tuttavia che identifichiamo teoria ed ipotesi. Come la radice greca della parola suggerisce, un'ipotesi è una supposizione, una premessa 'collocata sotto' il nostro ragionamento, come base provvisoria, la cui verità o falsità dev'essere verificata sperimentalmente. Ma, come oggi sappiamo bene, un'ipotesi generale, che copra tutta la realtà, non ammette una conferma o smentita sperimentale decisiva. Succede piuttosto che la vecchia teoria (come accadde con gli epicicli tolemaici all'epoca di Galileo o con i concetti newtoniani subito prima dell'avvento della relatività e della teoria quantistica) diventa sempre meno chiara quando si cerca di usarla per comprendere nuovi ambiti. Un attento esame di come ciò avvenga è in generale l'indicazione principale che addita la via verso nuove teorie, che rappresentano nuove forme di percezione.

Perciò, invece di supporre che le vecchie teorie vengano a un certo punto smentite, diciamo soltanto che gli esseri umani sviluppano continuamente nuove forme di percezione, che fino a un certo punto risultano chiare, poi tendono

a diventare confuse. Non c'è ragione di ritenere che questa attività conduca a una forma di percezione finale, corrispondente alla verità assoluta, e neppure che vi sia una progressione regolare di approssimazioni che si avvicinano alla verità. Piuttosto possiamo aspettarci che vi sia uno sviluppo senza fine di sempre nuove forme di percezione (che assimileranno certe caratteristiche fondamentali delle vecchie forme come semplificazioni, come la teoria della relatività assimila la teoria newtoniana). Come abbiamo già detto, questo significa che le nostre teorie non vanno considerate 'conoscenza assolutamente vera di come stanno le cose' (o progressive approssimazioni di una tale conoscenza), bensì sono essenzialmente dei modi di guardare il mondo nel suo complesso (delle visioni del mondo).

Quando guardiamo il mondo attraverso le nostre teorie, la conoscenza fattuale che acquisiamo è evidentemente modellata da quelle teorie. Per esempio, nei tempi antichi il 'fatto' del moto dei pianeti era descritto in termini dell'idea tolemaica di epicicli (cerchi sovrapposti ad altri cerchi). Ai tempi di Newton i moti planetari vennero a costituire un 'fatto' descritto per mezzo di determinate orbite, analizzabili in termini di tassi di caduta verso vari centri. In seguito il 'fatto' dei moti planetari cominciò a essere visto relativisticamente, in base ai concetti einsteiniani di spazio e di tempo. Ancora più recentemente la teoria quantistica introdusse una descrizione che corrisponde a un tipo di 'fatto' ancora diverso (di natura solo statistica). In biologia attualmente il 'fatto' è descritto in termini di evoluzione; in passato esso veniva espresso in termini di specie fisse di esseri viventi.

Più in generale, allora, possiamo affermare che le nostre teorie rappresentino la principale fonte di organizzazione della nostra conoscenza fattuale. In verità tutta la nostra esperienza è modellata in questo modo. Come Kant forse per primo ha segnalato, tutta l'esperienza è organizzata in base alle categorie del nostro pensiero, cioè al nostro modo di pensare lo spazio, il tempo, la materia, la sostanza, la causalità, la contingenza, la necessità, l'universalità, la particolarità, eccetera. Si può dire che queste categorie siano forme generali della percezione, che si applicano a ogni cosa; esse sono perciò in un certo senso una specie di teo-

ria (benché questo livello di teoria dev'essersi sviluppato molto presto nell'evoluzione dell'umanità).

La chiarezza della percezione e del pensiero richiede evidentemente che siamo consapevoli di come la nostra esperienza sia modellata dal modo di guardare (chiaro o confuso) delle teorie contenute implicitamente o esplicitamente nel nostro modo di pensare. In questo senso è utile sottolineare che esperienza e conoscenza sono un unico processo, anziché ritenere che la nostra conoscenza riguardi un'esperienza concepita come separata. Quest'unico processo possiamo indicarlo come esperienza-conoscenza (dove il trattino significa che queste due cose sono aspetti inseparabili di un unico movimento).

Se non ci rendiamo conto del fatto che le nostre teorie sono forme di percezione in perpetuo mutamento, la nostra visione è limitata. Potremmo formulare la cosa in questi termini: l'esperienza con la natura assomiglia molto all'esperienza con gli esseri umani. Se ci avviciniamo a un altro essere umano con in mente una 'teoria' fissa, che lo considera un 'nemico' da cui dobbiamo difenderci, la persona risponderà in modo analogo e in tal modo la nostra 'teoria' verrà apparentemente confermata dall'esperienza. Similmente, la natura risponde conformemente alla teoria con cui ci accostiamo a essa. Per esempio, nei tempi antichi gli esseri umani pensavano che le epidemie fossero inevitabili e questo contribuiva a far sì che si comportassero in modo tale da propagare le condizioni responsabili della loro diffusione. In base al punto di vista della medicina moderna, la gente tende a evitare i comportamenti non igienici che facilitano il contagio e le epidemie non sono più inevitabili.

Ciò che impedisce alle nostre teorie di superare i limiti esistenti e di evolversi per far fronte a fatti nuovi è appunto l'illusione che esse forniscano una vera conoscenza della realtà (il che implicherebbe naturalmente che non hanno bisogno di cambiare). Il nostro modo di pensare è molto diverso da quello degli antichi, ma i due hanno una caratteristica fondamentale in comune: condividono i 'paraocchi' del concetto che le teorie forniscano una vera conoscenza della 'realtà così com'è'. Perciò entrambi tendono a confondere le forme indotte nella percezione dal nostro modo di guardare teorico con una realtà indipendente dal

pensiero e dal punto di vista. Questa confusione è di cruciale importanza, in quanto ci induce ad accostarci alla natura, alla società e agli individui in termini di forme di pensiero più o meno fisse (trovando così apparentemente continue conferme nell'esperienza delle limitazioni di tali forme di pensiero).

Questa continua conferma delle limitazioni dei nostri modi di pensare è particolarmente importante in rapporto alla frammentazione. Come abbiamo detto, ogni modo di guardare teorico introduce un proprio insieme di differenze e distinzioni essenziali (per esempio, nei tempi antichi la distinzione essenziale era quella fra materia celeste e materia terrestre, mentre nella teoria di Newton era essenziale distinguere fra i diversi centri verso i quali la materia cadeva). Se consideriamo queste differenze e distinzioni come modi di guardare, come guide per la percezione, esse non vengono necessariamente a indicare sostanze o enti separatamente esistenti.

Ma se consideriamo le nostre teorie come 'descrizioni della realtà così com'è', inevitabilmente saremo portati a trattare queste distinzioni come divisioni reali, che implicano l'esistenza separata dei vari termini elementari che appaiono in esse. Saremo allora portati a formarci l'illusione che il mondo sia fatto in effetti di frammenti separati e questo, come abbiamo già detto, ci farà comportare in modo tale da produrre quella stessa frammentazione che è implicita nel nostro atteggiamento teorico.

È importante sottolineare questo punto. Qualcuno potrebbe dire: «La frammentazione del mondo in nazioni, religioni, sistemi politici, i conflitti esistenti sotto forma di guerra, violenza, fratricidio, eccetera, sono la realtà. L'unità è solo un ideale, al quale forse dovremmo tendere». Ma non è questo che stiamo dicendo qui. Quel che diciamo è invece che l'unità del tutto è la realtà; e la frammentazione è la risposta di questa totalità all'azione umana, guidata da una percezione illusoria, prodotto di un pensiero frammentario. In altre parole, proprio perché la realtà è un tutto indiviso, all'approccio frammentario umano corrisponde inevitabilmente una risposta frammentaria. Quel che occorre è che gli esseri umani facciano attenzione a questa frammentazione del pensiero, ne diventino consapevoli e così

vi pongano fine. Allora essi potranno accostarsi alla realtà in modo unitario e la risposta della realtà sarà unitaria.

Perché questo accada, tuttavia, è cruciale che gli esseri umani si rendano conto dell'attività del loro pensiero come tale: cioè come modo di guardare, anziché come 'copia fedele della realtà così com'è'.

È chiaro che possiamo avere molti diversi modi di guardare la realtà. Ciò che occorre non è un'*integrazione* del pensiero o una sorta di unità imposta, perché ogni punto di vista imposto non sarebbe altro che un altro frammento. Invece, tutti i nostri diversi modi di pensare vanno considerati come modi diversi di guardare l'unica realtà, ciascuno dei quali ha un suo ambito in cui è chiaro e adeguato. Possiamo paragonare una teoria ad una prospettiva particolare su un oggetto. Ciascun punto di vista fornisce solo un'immagine di alcuni aspetti dell'oggetto. L'intero oggetto non viene percepito da nessun singolo punto di vista, bensì viene colto solo *implicitamente* come la realtà unitaria che appare in tutte queste visioni prospettiche. Quando comprendiamo profondamente che anche le nostre teorie funzionano così, non ricadiamo più nell'abitudine di considerare la realtà e agire su di essa come se fosse fatta di frammenti separati, corrispondenti alle divisioni operate dal nostro pensiero e dalla nostra immaginazione.

Oltre a una generale consapevolezza del ruolo delle teorie, come sopra indicato, occorre un'attenzione particolare nei confronti di quelle teorie che contribuiscono a formare la nostra visione del sé-mondo complessiva. È in quest'ambito che si formano esplicitamente o implicitamente i nostri concetti generali sulla natura della realtà e sulla relazione fra pensiero e realtà. Sotto questo aspetto le teorie della fisica hanno un ruolo importante, perché si ritiene che esse riguardino la natura universale della materia di cui tutto è costituito e lo spazio ed il tempo in termini dei quali viene descritto ogni movimento materiale.

Considera per esempio la teoria atomistica, inizialmente proposta da Democrito oltre duemila anni fa. Essenzialmente questa teoria ci porta a vedere il mondo come costituito da atomi che si muovono nel vuoto. Le forme e le caratteristiche costantemente mutevoli degli oggetti macroscopici appaiono allora come effetti delle mutevoli configurazioni

degli atomi in movimento. Evidentemente questa teoria ha rappresentato in un certo senso un passo importante nella comprensione della natura unitaria della realtà, perché ha permesso agli esseri umani di capire l'enorme varietà del mondo in termini dei movimenti di un unico insieme di costituenti fondamentali in un unico vuoto che permea l'intera esistenza.

Tuttavia, sviluppandosi, la teoria atomistica è divenuta a lungo andare una delle basi principali di un approccio frammentario alla realtà. Perché si è cessato di considerarla come un'intuizione, un modo di guardare, e si è adottato invece come verità assoluta il concetto che l'intera realtà non consista in effetti che di 'mattoni atomici' che operano insieme in maniera più o meno meccanica.

Prendere qualsiasi teoria fisica come verità assoluta tende a fissare le forme generali del pensiero fisico e perciò contribuisce alla frammentazione. Oltre a questo, tuttavia, il contenuto particolare della teoria atomistica era particolarmente funzionale alla frammentazione in quanto in esso era implicito che tutto il mondo naturale, compresi gli esseri umani, con il loro cervello, il loro sistema nervoso, la loro mente, eccetera, fosse in linea di principio completamente comprensibile in termini di strutture e funzioni di aggregati di atomi separatamente esistenti. Il fatto che questo punto di vista atomistico fosse confermato dagli esperimenti e dall'esperienza in generale fu naturalmente assunto come prova della correttezza e universale verità di questa concezione. Così quasi l'intera autorità della scienza fu posta al servizio dell'approccio frammentario alla realtà.

È importante tuttavia sottolineare che (come succede di solito in questi casi) le conferme sperimentali del punto di vista atomistico erano di portata limitata. Negli ambiti coperti dalla teoria quantistica e dalla relatività i concetti atomistici portano a porsi domande confuse, il che suggerisce la necessità di nuove forme di percezione, tanto diverse dall'atomismo quanto quest'ultimo lo è dalle teorie che l'hanno preceduto.

La teoria quantistica mostra che il tentativo di descrivere e seguire il moto di una particella atomica in maniera dettagliata ha poco significato (questo punto verrà ulterior-

mente elucidato nel capitolo 5). Il concetto di traiettoria atomica ha un campo di applicabilità limitato. In una descrizione più dettagliata si trova che l'atomo si comporta, per molti versi, tanto come un'onda quanto come una particella. Forse la descrizione migliore dell'atomo è una nube indefinita, la cui forma dipende dall'ambiente complessivo, comprendente anche lo strumento di misura. Perciò non è più possibile mantenere la divisione fra osservatore e sistema osservato (implicita nella visione atomistica, che li considera come due aggregati di atomi separati). Osservatore e sistema osservato si presentano invece come aspetti fra loro fusi e compenetrati di una realtà complessiva, indivisibile e non analizzabile.

La relatività ci porta a guardare il mondo in un modo simile sotto certi aspetti fondamentali (*vedi* il capitolo 5 per ulteriori dettagli). Dal punto di vista di Einstein non può esistere alcun segnale più veloce della luce e da ciò discende l'impossibilità di concepire un corpo rigido. Ma il concetto di corpo rigido è cruciale per la teoria atomistica classica, perché, per essere piccoli oggetti indivisibili, i costituenti ultimi dell'universo devono essere minuscoli corpi rigidi. La teoria della relatività ci porta ad abbandonare completamente l'idea che il mondo sia fatto di oggetti fondamentali o 'mattoni'. Dobbiamo invece vedere il mondo in termini di un flusso universale di eventi e processi. Come indicato nella figura 1.1, invece di pensare a due particelle A e B, dobbiamo pensare a due 'tubi di universo'.

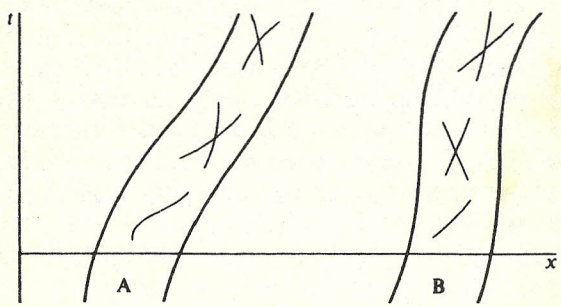

Figura 1.1

Ciascun tubo di universo rappresenta il processo infinitamente complesso di una struttura in movimento e sviluppo, centrato nella regione delimitata dai contorni del tubo. Tuttavia anche fuori dal tubo ciascuna 'particella' ha una campo che si estende nello spazio e si fonde con i campi delle altre particelle.

Un'immagine più vivida di che cosa questo significhi si ottiene considerando le forme d'onda come vortici nella corrente di un ruscello.

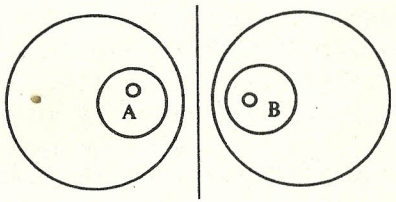

Figura 1.2

Come illustrato nella figura 1.2, due vortici centrati più o meno nei punti A e B corrispondono a formazioni di flusso relativamente stabili. Ma evidentemente i vortici sono delle astrazioni, messe in rilievo nella percezione dal nostro modo di pensare. In effetti le due formazioni di flusso si fondono e si uniscono nell'unico movimento globale della corrente del ruscello. Non c'è un confine netto che le separi, né vanno considerate come entità esistenti separatamente o indipendentemente.

La relatività richiede questo modo di guardare le particelle atomiche che costituiscono tutta la materia, compresi naturalmente gli esseri umani, con il loro cervello, il loro sistema nervoso, e compresi anche i loro strumenti di misura e i loro laboratori. Perciò, pur accostandosi al problema da punti di vista diversi, la relatività e la teoria quantistica concordano nel considerare il mondo come un tutto indiviso, in cui tutte le parti dell'universo, compresi l'osservatore e i suoi strumenti, si fondono e si uniscono in un'*unica totalità*. In questa totalità il modo di guardare ato-

mistico è una semplificazione e un'astrazione, valida solo in un contesto limitato.

Il nuovo modo di guardare può essere forse definito nel modo più appropriato come *totalità indivisa in fluido movimento*. Questa visione implica che il flusso sia in un certo senso prioritario rispetto alle 'cose' che vediamo formarsi e dissolversi in esso. Possiamo forse illustrare ciò che intendiamo considerando il 'flusso di coscienza'. Questa corrente di consapevolezza non è precisamente definibile, eppure è evidentemente prioritaria rispetto alle forme definibili dei pensieri e delle idee che si formano e si dissolvono in essa come increspature, onde e vortici nella corrente di un ruscello. Come succede con le forme che si creano in seno alla corrente del ruscello, alcuni pensieri sono ricorrenti, persistenti e relativamente stabili, mentre altri sono evanescenti.

La nostra proposta di un nuovo modo generale di guardare la realtà è che tutta la materia sia di questa natura. Vale a dire, c'è un flusso universale, non definibile esplicitamente ma conoscibile implicitamente, come indicato dalle forme esplicitamente definibili, alcune stabili, altre instabili, che possono venire astratte da esso. In questo flusso mente e materia non sono sostanze separate. Esse sono invece aspetti diversi di un unico movimento indiviso. Possiamo così considerare tutti gli aspetti dell'esistenza come non separati e porre fine alla frammentazione implicita nell'atteggiamento atomistico, che porta a suddividere sistematicamente ogni cosa. Ciò nonostante, possiamo conservare quell'aspetto del pensiero atomistico che fornisce ancora un modo di vedere le cose corretto e valido: cioè il fatto che, malgrado l'unità indivisa in fluido movimento, le varie forme che possono venire astratte da essa hanno una certa relativa autonomia e stabilità, che ha il suo fondamento nella legge universale del movimento. Ora però abbiamo ben chiari i limiti di questa autonomia e stabilità.

Così possiamo in certi contesti specifici adottare varie altre forme di percezione che ci consentono di semplificare certe cose e di trattarle momentaneamente e per scopi limitati come autonome e stabili e forse anche come separatamente esistenti. Ma non siamo costretti a cadere nella trappola di considerare noi stessi e tutto il mondo in questo modo. Il nostro pensiero non deve più necessariamente generare l'illusione che la realtà sia effettivamente di natura frammentaria, né dar luogo alle azioni frammentarie che derivano dalla percezione offuscata da tale illusione.

Questo punto di vista è simile per certi versi a quello di alcuni Greci antichi. L'analogia può essere messa in evidenza considerando il modo in cui Aristotele concepiva la causalità. Aristotele distingueva quattro tipi di cause:

Materiale
Efficiente
Formale
Finale

Un buon esempio per illustrare questa distinzione è costituito da un organismo vivente, per esempio un albero o un animale. La causa materiale è allora semplicemente la materia in cui tutte le altre cause operano e di cui l'organismo è costituito. Nel caso di una pianta, la causa materiale è rappresentata dal terreno, dall'aria, dall'acqua e dalla luce solare che costituiscono la sostanza della pianta. La causa efficiente è una qualche azione esterna alla cosa considerata che mette in moto l'intero processo: per esempio, nel caso della pianta, la deposizione del seme nel terreno.

In questo contesto è di cruciale importanza capire il significato della 'causa formale'. Nella sua connotazione moderna, la parola 'formale' tende a riferirsi a una forma esteriore e priva di particolare importanza (come in 'pura formalità'). Nell'antica filosofia greca, invece, 'forma' significava in primo luogo l'*attività formativa interna* che causa la crescita delle cose e lo sviluppo e la differenziazione delle loro forme essenziali. Per esempio, nel caso di una quercia il termine 'causa formale' indica l'intero movimento interno della linfa, della crescita cellulare, dell'articolazione dei rami, delle foglie, eccetera, caratteristico di quel tipo di albero e diverso da quello di altri tipi di albero. Con un linguaggio più moderno tutto questo sarebbe meglio descritto come *causa formativa*, per sottolineare il fatto che non si tratta di una forma semplicemente imposta da fuori, bensì di un *movimento interno ordinato e strutturato, essenziale perché le cose siano quello che sono*.

Una causa formativa cosiffatta deve evidentemente avere un fine o un prodotto finale, almeno implicito. Non è evidentemente possibile riferirsi al movimento interno che dalla ghianda genera una quercia senza simultaneamente riferirsi alla quercia che risulterà da questo movimento. Perciò la causa formativa implica sempre una causa finale.

Anche noi naturalmente conosciamo l'idea di causa finale sotto forma di *progetto*, consapevolmente presente alla mente attraverso il pensiero (concetto che veniva esteso anche a Dio, che si riteneva avesse creato l'universo secondo un certo grandioso progetto). Il progetto, tuttavia, è solo un caso particolare di causa finale. Per esempio, gli esseri umani spesso tendono a certi fini nel loro pensiero, ma quello che emerge dalle loro azioni è qualcosa di diverso dal progetto, qualcosa che era *implicito* nelle loro azioni pur non essendo percepito coscientemente dalle persone coinvolte.

Nella visione degli antichi la causa formativa aveva essenzialmente la stessa natura per la mente, per la vita e per il cosmo nel suo insieme. In verità, Aristotele considerava l'universo come un unico organismo, in cui ogni parte cresce e si sviluppa in relazione con il tutto e in cui ogni parte ha il suo posto e la sua funzione.

Per quanto riguarda la mente, possiamo capire questo concetto in termini più moderni rivolgendo la nostra attenzione al fluido movimento della coscienza. Come abbiamo detto, in questo flusso possiamo in primo luogo discernere varie forme-pensiero. Queste si susseguono in maniera relativamente meccanica, tramite associazioni determinate dall'abitudine e dai condizionamenti. Evidentemente questi mutamenti associativi sono esterni alla struttura del pensiero: perciò essi agiscono come una serie di cause efficienti. Ma cogliere la ragione di qualcosa non è un'attività meccanica di questo genere. È invece un prendere coscienza dei vari aspetti come assimilati in un tutto unico, le cui parti sono internamente collegate (così come lo sono, per esempio, gli organi del corpo). L'atto della ragione è perciò essenzialmente una forma di percezione mentale, simile per certi versi alla percezione artistica, e non una semplice ripetizione associativa di ragioni già conosciute. Per esempio, possiamo essere perplessi di fronte a tutta una gamma

di fattori, di cose che non combaciano, finché improvvisamente abbiamo un lampo di comprensione e vediamo come tutti questi fattori siano fra loro collegati come aspetti di una totalità (considera per esempio l'intuizione di Newton riguardo alla gravitazione universale). Questi atti percettivi non ammettono un'analisi o una descrizione dettagliata. Essi vanno invece considerati come aspetti dell'attività *formativa* della mente. Una particolare struttura di concetti è allora il *prodotto* di questa attività. Questi prodotti sono legati fra loro dalla serie di cause efficienti che agiscono nell'ordinario pensiero associativo. Come abbiamo accennato in precedenza, nella concezione aristotelica l'attività formativa viene considerata altrettanto primaria in natura quanto nella mente: perciò anche in natura le forme che essa produce sono ciò che viene collegato dalle cause efficienti.

Evidentemente il concetto di causa formativa è rilevante per la visione di totalità indivisa in fluido movimento che abbiamo visto essere implicita in certi sviluppi della fisica moderna, particolarmente nella teoria della relatività e nella teoria quantistica. Perciò, come abbiamo detto, ogni struttura relativamente autonoma e stabile (per esempio una particella atomica) non va compresa come qualcosa di esistente indipendentemente e permanentemente, bensì come un prodotto formatosi nell'intero movimento fluido e destinato alla fine a dissolversi nello stesso movimento. Il modo in cui si forma e si conserva dipende allora dal suo posto e dalla sua funzione in seno al tutto. Vediamo perciò che certi sviluppi della fisica moderna comportano un tipo di percezione della natura che è, rispetto ai concetti di causa formativa e di causa finale, essenzialmente simile a modi di vedere che erano comuni molto tempo fa.

Tuttavia, nella maggior parte del lavoro che si fa oggi in fisica i concetti di causa formativa e di causa finale non vengono considerati come di significato fondamentale. Le leggi sono invece generalmente concepite come sistemi autodeterminati di cause efficienti che agiscono su un insieme di costituenti materiali ultimi dell'universo (per esempio, particelle elementari soggette a forze di interazione reciproche). Questi costituenti non vengono considerati come formati in un processo globale e perciò non hanno nulla del-

la natura di organi, adattati al loro posto e alla loro funzione in seno al tutto (cioè ai fini a cui sono destinati a servire in questo tutto). Essi sono concepiti invece come elementi meccanici separatamente esistenti di natura fissa.

La tendenza dominante nella fisica moderna è perciò molto contraria a qualsiasi tipo di visione che attribuisca un ruolo primario all'attività formativa in seno a una totalità indivisa di movimento fluido. Quegli aspetti della relatività e della teoria quantistica che suggeriscono la necessità di una tale visione tendono a essere considerati marginali e in verità quasi a passare inosservati agli occhi della maggior parte dei fisici, venendo trattati in larga misura come anomalie matematiche, anziché come indicazioni della natura reale delle cose. Nel linguaggio e nella modalità di pensiero informali, che permeano l'immaginazione e danno il senso di cosa sia reale e sostanziale, la maggior parte dei fisici tuttora parla e pensa, con una spiccata convinzione di essere nel vero, in termini della tradizionale concezione atomistica che considera le particelle elementari come i 'mattoni fondamentali' dell'universo.

In altre discipline scientifiche, per esempio in biologia, la forza di questa convinzione è ancora maggiore, perché i ricercatori in questi campi non hanno dimestichezza con il carattere rivoluzionario degli sviluppi della fisica moderna. Per esempio, i moderni biologi molecolari credono in generale che tutta quanta la vita e la mente siano in ultima analisi comprensibili in termini più o meno meccanici, attraverso una qualche estensione del tipo di ricerca che ha messo in luce la struttura e la funzione del DNA. Un'analoga tendenza ha cominciato a imporsi anche in psicologia. Ci troviamo così di fronte allo stranissimo risultato che proprio nello studio della vita e della mente, che sono i campi in cui l'azione di una causa formativa in seno a un movimento fluido e indiviso è più evidente all'esperienza diretta e all'osservazione, la fiducia nell'approccio frammentario atomistico è più forte.

Naturalmente la tendenza a pensare e a percepire in termini di una visione frammentaria del sé-mondo che prevale oggi nelle scienze fa parte di un più ampio processo che si è sviluppato nel corso dei secoli e che pervade oggi quasi tutta la nostra società. Ma il modo di pensare e di guardare

nella ricerca scientifica tende a sua volta a rafforzare nettamente l'approccio frammentario generale, dando agli esseri umani un'immagine del mondo come costituito da nient'altro che un aggregato di 'costituenti elementari atomici' separatamente esistenti e giustificando sperimentalmente la conclusione che questa visione sia necessaria ed inevitabile. In questo modo la gente è indotta a credere che la frammentazione non sia altro che un'espressione di 'come stanno le cose in realtà' e che ogni altra visione sia impossibile. Perciò la gente è pochissimo motivata a cercare indicazioni del contrario. Anzi, come abbiamo già sottolineato, anche quando indicazioni cosiffatte si presentano, come nella fisica moderna, si tende in generale a sminuirne il significato o ad ignorarle completamente. Potremmo spingerci fino a dire che nell'attuale stato della società e nell'attuale modalità di insegnamento delle scienze (che è una manifestazione dello stato della società) il pregiudizio a favore di una visione frammentaria del sé-mondo viene alimentato e trasmesso (in una certa misura esplicitamente e consciamente, ma soprattutto implicitamente e inconsciamente).

Come abbiamo detto, persone guidate da una tale visione frammentaria del sé-mondo non possono a lungo andare che cercare con le loro azioni di dividere se stessi e il mondo in frammenti. Poiché la frammentazione è in primo luogo un tentativo di estendere l'analisi del mondo in parti separate al di là dell'ambito in cui tale analisi è appropriata, essa è in effetti un tentativo di dividere ciò che è in realtà indivisibile. Il passo successivo ci porta a cercare di unire ciò che in realtà non può essere unito. Questo si vede con particolare chiarezza nei raggruppamenti sociali (politici, economici, religiosi, eccetera). L'atto stesso di creazione di un gruppo cosiffatto tende a generare nei suoi membri un senso di separazione dal resto del mondo; ma, siccome essi sono in realtà connessi con il tutto, questa separazione non può funzionare. Ciascuno di essi ha in effetti una connessione un po' diversa con il resto del mondo e prima o poi questo fatto si traduce in una differenza fra l'individuo e gli altri membri del gruppo. Quando gli esseri umani si separano dalla società e cercano di unirsi ad altri identificandosi con un gruppo particolare, è chiaro che il gruppo non può che sviluppare a un certo punto conflitti interni che

portano a una rottura della sua unità. Un analogo stato di contraddizione e disunione si sviluppa quando gli esseri umani cercano di isolare un aspetto della natura nel loro lavoro tecnico pratico. La stessa cosa succede all'individuo quando cerca di isolarsi dalla società. Una vera unità nel singolo individuo, fra individui e fra esseri umani e natura può nascere solo da una forma d'azione che non cerchi di frammentare la totalità della realtà.

Il nostro modo frammentario di pensare, vedere e agire ha evidentemente implicazioni in ogni aspetto della vita umana. È un'interessante ironia che la frammentazione sia la sola cosa universale nel nostro stile di vita, la sola cosa che opera in tutto, senza limiti o confini. Questo avviene perché le radici della frammentazione sono profonde e onnipresenti. Cerchiamo di dividere ciò che è unitario e indivisibile e questo implica che nel passo successivo dobbiamo cercare di identificare ciò che è diverso.

Perciò la frammentazione è essenzialmente una confusione riguardo alla differenza e all'identità (o all'unità). Una chiara percezione di queste categorie è necessaria in ogni aspetto della vita. *Essere confusi su ciò che è diverso e ciò che non lo è significa essere confusi su tutto.* Perciò non è un caso che il nostro pensiero frammentario porti a un complesso tanto vasto di crisi sociali, politiche, economiche, ecologiche, psicologiche, eccetera, nell'individuo e nella società. Questo stile di pensiero comporta un interminabile sviluppo di conflitti caotici e privi di significato, in cui le energie di tutti vanno disperse in movimenti antagonistici o incongruenti fra loro.

Evidentemente è importante e urgente risolvere questa profonda e onnipresente confusione che permea tutta la nostra vita. A che cosa serve tentare di agire sul piano sociale, politico, economico, eccetera, se la mente è prigioniera di un movimento confuso che differenzia ciò che non è in realtà differente e identifica ciò che non è identico? Le nostre azioni saranno nel migliore dei casi inefficaci e nel peggiore distruttive.

E neppure serve cercare di sovrapporre alla nostra visione del sé-mondo un qualche principio 'olistico' unificante o integrante, perché, come abbiamo visto, ogni visione fissa del sé-mondo indica che non stiamo più considerando le

nostre teorie come intuizioni o forme di percezione, ma come 'conoscenza assolutamente vera delle cose così come sono in realtà'. Allora le distinzioni che sono inevitabilmente presenti in ogni teoria, anche 'olistica', cominciano a essere falsamente trattate come divisioni che implicano la reale esistenza separata dei termini fra cui operano (e, corrispondentemente, ciò che non viene distinto in questo modo viene falsamente trattato come assolutamente identico).

Dobbiamo perciò essere attenti e consapevoli e prendere in seria considerazione il fatto che le nostre teorie non sono 'descrizioni della realtà così com'è', bensì forme di percezione perennemente mutevoli che possono additare o suggerire una realtà implicita, non descrivibile o specificabile nella sua totalità. Questa attenzione deve applicarsi anche a quanto detto in questo capitolo, nel senso che non va considerato come 'conoscenza assolutamente vera della natura della frammentazione e dell'unità'. È invece a sua volta una *teoria* che ci aiuta a intuire qualcosa di questa tematica. Sta al lettore valutare da sé se questo modo di guardare sia chiaro o meno e quali siano i limiti della sua validità.

Che cosa si può fare allora per porre fine allo stato di frammentazione dominante? A prima vista questa sembra una domanda ragionevole, ma un esame più attento ci porta in effetti a dubitarne, perché la domanda contiene dei presupposti non chiari.

Se ci chiediamo per esempio come risolvere un certo problema tecnico, presupponiamo che, pur non conoscendone inizialmente la soluzione, la nostra mente sia abbastanza chiara da permetterci di scoprire una risposta o per lo meno di riconoscere una risposta scoperta da altri. Ma se tutto il nostro modo di pensare è permeato dalla frammentazione, non siamo in grado né di scoprire né di riconoscere una risposta, perché la percezione frammentaria è essenzialmente un'abituale inconscia confusione riguardo a ciò che è diverso e ciò che non lo è. Perciò anche nel cercare di scoprire che cosa fare per risolvere la frammentazione continueremo ad applicare questa abitudine, introducendo così ulteriori forme di frammentazione.

Questo non significa naturalmente che non esista alcuna via d'uscita, ma significa che è necessario fermarci un attimo, in modo da non continuare ad applicare i nostri abi-

tuali modi di pensare frammentari alla ricerca di una pronta soluzione. Il problema della frammentazione e dell'unità è sottile e difficile, più sottile e difficile di quelli che portano a scoperte scientifiche fondamentali. Chiederci come porre fine alla frammentazione e aspettarci di trovare una risposta in pochi minuti ha ancora meno senso che chiedere come fare a sviluppare una teoria altrettanto nuova di quella di Einstein e aspettarci una risposta formulata in termini di un programma o di una ricetta. Uno degli aspetti più difficili e sottili del problema è la relazione fra il contenuto del pensiero e il processo del pensiero che lo produce. Una causa fondamentale di frammentazione è in effetti il presupposto generalmente accettato che il processo del pensiero sia abbastanza separato e indipendente dal suo contenuto da permetterci di pensare in modo chiaro, ordinato e razionale e di valutare correttamente tale contenuto come giusto o sbagliato, razionale o irrazionale, frammentario o unitario, eccetera. In realtà, come abbiamo visto, la frammentazione della nostra visione del sé-mondo non è presente solo nel contenuto del pensiero, ma anche nell'attività generale della persona che pensa e perciò si manifesta tanto nel processo del pensiero quanto nel suo contenuto. In verità, contenuto e processo non sono due cose separatamente esistenti, ma due aspetti di un unico movimento complessivo. Perciò la frammentazione del contenuto e quella del processo devono aver fine insieme.

Abbiamo a che fare qui con un'unità di processo e contenuto simile per certi versi importanti all'unità di osservatore e sistema osservato dicussa in rapporto con la relatività e la teoria quantistica. Problemi di questa natura non sono affrontabili finché siamo coinvolti, consciamente o inconsciamente, in uno stile di pensiero che cerca di analizzarsi in termini di una presunta separazione fra processo e contenuto del pensiero. Accettando questa presunta separazione, siamo indotti a cercare una qualche fantasia o a cercare di agire per mezzo di cause efficienti per porre fine alla frammentazione del contenuto, senza toccare la frammentazione dell'effettivo processo di pensiero. Quel che occorre, invece, è cogliere in qualche modo la *causa formativa* complessiva della frammentazione, in cui contenuto e processo effettivo sono visti insieme, nella loro unità.

Potremmo qui considerare l'analogia dei vortici che si formano nella corrente turbolenta di un ruscello. La struttura e distribuzione dei vortici, che costituisce una sorta di contenuto della descrizione del movimento, non è separata dall'attività formativa della corrente, che la crea, la mantiene e a lungo andare la dissolve. Cercare di eliminare i vortici senza cambiare l'attività formativa della corrente sarebbe evidentemente assurdo. Quando la nostra percezione è guidata da una corretta intuizione del significato del movimento complessivo, non siamo evidentemente disposti a tentare un approccio tanto futile. Prendiamo invece in considerazione l'intera situazione ed esaminiamola con attenzione per conoscerla e per scoprire quale sia un'azione appropriata, rilevante per questa totalità, che ponga fine alla struttura turbolenta dei vortici. Analogamente, quando coglieremo realmente l'unità del processo del pensiero e del suo contenuto, questa chiarezza ci permetterà di osservare, di esaminare l'intero movimento del pensiero e così di scoprire un'azione rilevante per questa totalità, che ponga fine alla 'turbolenza' che è l'essenza della frammentazione in ogni aspetto della vita.

Naturalmente questo processo di apprendimento e di scoperta richiederà molta attenzione e molto lavoro. Siamo pronti a dedicare questa attenzione e questo lavoro a una varietà di campi: scientifico, economico, sociale, politico, eccetera. Finora, tuttavia, pochissima energia è stata spesa per cogliere la natura del processo del pensiero, dalla cui chiarezza dipende il valore di ogni altra cosa. Ciò che occorre in primo luogo è una crescente consapevolezza dell'immenso pericolo costituito dal protrarsi di un processo di pensiero frammentario. Questa consapevolezza può dare alla ricerca sull'effettivo modo di funzionare del pensiero il senso di urgenza e l'impulso necessari ad affrontare la dimensione reale dei problemi che la frammentazione oggi ci impone.

Appendice: breve discussione sulle forme di percezione dell'unità occidentali e orientali

Nelle prime fasi dello sviluppo della civiltà, la visione degli esseri umani era essenzialmente una visione di unità piut-

tosto che di frammentazione. In Oriente (specialmente in India) tale visione sopravvive tuttora, nel senso che la filosofia e la religione sottolineano la natura unitaria della realtà e suggeriscono che è futile analizzare il mondo in parti separate. Perché allora non abbandoniamo il nostro approccio frammentario occidentale per adottare queste concezioni orientali, che comprendono non solo una visione del sé-mondo contraria alla divisione e alla frammentazione, ma anche tecniche di meditazione che possono portare in maniera non verbale l'intero processo mentale a quel tranquillo stato di flusso liscio e ordinato necessario a porre fine alla frammentazione sia nell'effettivo processo del pensiero sia nel suo contenuto?

Per rispondere a questa domanda è utile partire dalla differenza fra i concetti occidentale e orientale di misura. In Occidente il concetto di misura ha avuto, fin da tempi molto antichi, un ruolo fondamentale nel determinare la visione generale del sé-mondo e lo stile di vita implicito in tale visione. Fra gli antichi Greci, da cui derivano buona parte dei nostri concetti fondamentali (tramite i Romani), mantenere ogni cosa nella giusta misura era ritenuto una caratteristica essenziale di una buona vita (per esempio, le tragedie greche in genere ritraggono le sofferenze di una persona che ha travalicato la giusta misura delle cose). In questo senso la misura non era considerata primariamente nel suo senso moderno un confronto fra un oggetto e un campione o un'unità di misura esterni. Piuttosto, quest'ultima procedura era considerata una sorta di manifestazione esteriore di una più profonda 'misura interna', che aveva un ruolo essenziale in tutto. Quando una cosa andava oltre la propria giusta misura, questo non significava soltanto che non era conforme a un qualche standard esterno di ciò che era giusto, bensì, cosa molto più importante, che veniva a trovarsi in uno stato di disarmonia interna, onde era destinata a perdere la propria integrità e a spezzarsi in frammenti. È possibile intuire qualcosa di questo modo di pensare attraverso l'antico significato di certe parole. Per esempio, il verbo latino *mederi*, che significa 'curare' (ed è la radice della parola 'medicina'), è basato su una radice che significa 'misurare'. Questo corrisponde alla visione che la salute fisica vada considerata uno stato di giusta misura interna

in tutte le parti e i processi del corpo. La parola 'moderazione', che descrive uno degli aspetti fondamentali del concetto di virtù secondo gli antichi, deriva dalla stessa radice, il che mostra che questa virtù era considerata il prodotto di una giusta misura interna sottostante alle azioni sociali e al comportamento umano. Analogamente la parola 'meditazione', basata sulla stessa radice, suggerisce una sorta di misura o di equilibrio nell'intero processo del pensiero, capaci di portare le attività della mente a uno stato di armonia. Perciò fisicamente, socialmente e mentalmente la consapevolezza della misura interna delle cose era vista come la chiave essenziale per una vita sana, felice e armoniosa.

È chiaro che la misura può venire espressa in maggior dettaglio tramite il concetto di proporzione o rapporto (*ratio*); e *ratio* è la parola latina da cui deriva la nostra 'ragione'. Dal punto di vista degli antichi, la ragione è la percezione di una totalità di rapporti o proporzioni ritenuta internamente rilevante per la natura stessa delle cose (e non solo esternamente un confronto con un campione o unità di misura). Naturalmente questo tipo di *ratio* non è soltanto una proporzione numerica (benché possa includere anche una tale proporzione). È piuttosto in generale una sorta di proporzione o relazione qualitativa universale. Così, quando Newton intuì la gravitazione universale, ciò che vide potrebbe essere formulato in questo modo: 'come la mela cade, così cade la luna e così, in verità, cade ogni cosa'. Per mettere in evidenza la forma di questa proporzione o *ratio* ancora più esplicitamente, possiamo scrivere:

$$A : B :: C : D :: E : F$$

dove A e B rappresentano posizioni successive della mela in momenti successivi, C e D posizioni successive della luna, E ed F posizioni successive di un qualsiasi altro oggetto.

Ogni volta che troviamo una ragione teorica di qualcosa, applichiamo questo concetto di *ratio*, nel senso che, come i vari aspetti della cosa sono in rapporto fra loro nella nostra idea, così essi sono in rapporto nella realtà a cui l'idea si riferisce. La ragione o *ratio* essenziale di una cosa è allora la totalità delle proporzioni interne alla sua struttura e

al processo in cui si forma, si mantiene e alla fine si dissolve. Da questo punto di vista, comprendere la *ratio* della cosa significa comprenderne 'il più intimo essere'.

Ciò implica che la misura è una forma di intuizione dell'essenza delle cose e che, quando la percezione umana è guidata da tale intuizione, essa è chiara e genera azioni ordinate e vita armoniosa. In questo contesto è utile ricordare il concetto che gli antichi Greci avevano della misura nella musica e nelle arti visive. Per i Greci il senso della misura era la chiave per comprendere l'armonia musicale (la misura come ritmo, come giusta proporzione nell'intensità dei suoni, nelle tonalità, eccetera). Analogamente, nelle arti visive la misura era ritenuta essenziale per l'armonia e la bellezza complessiva dell'opera (considera, per esempio, l'importanza della 'sezione aurea'). Tutto questo indica quanto il concetto di misura andasse al di là di un semplice confronto con un campione esterno, indicando una sorta di *ratio* o proporzione interna universale, percepita sia dai sensi sia dalla mente.

Naturalmente con il passare del tempo questo concetto di misura cominciò gradualmente a cambiare, a perdere la propria sottigliezza e a diventare relativamente grossolano e meccanico. Probabilmente ciò fu dovuto al fatto che esso si trasformò in un'abitudine e in una routine, sia nella sua forma esteriore di misura rispetto a un campione esterno, sia nel suo significato interno di *ratio* universale essenziale alla salute fisica, all'ordine sociale e all'armonia mentale. La gente cominciò a imparare questi concetti meccanicamente, conformandosi agli insegnamenti degli anziani e dei maestri, anziché creativamente sentendo e comprendendo internamente il loro significato profondo. Perciò la misura venne gradualmente a essere insegnata come una sorta di regola imposta dall'esterno alla persona, che a sua volta la imponeva fisicamente, socialmente e mentalmente in ogni contesto in cui si trovava a operare. Di conseguenza i concetti di misura dominanti non furono più concepiti come intuizioni, percezioni interne, bensì come 'verità assolute sulla realtà così com'è'. Queste verità sembravano appartenere agli esseri umani da sempre e la loro origine veniva spesso spiegata mitologicamente, tramite ingiunzioni divine che era malvagio e pericoloso mettere in

discussione. Il pensiero relativo alla misura venne così a ricadere principalmente nella sfera delle abitudini inconscie e di conseguenza le forme da esso indotte nella percezione cominciarono ad apparire come realtà oggettive direttamente osservate.

Già al tempo degli antichi Greci questo processo era notevolmente avanzato. Rendendosene conto, alcuni filosofi cominciarono a mettere in discussione il concetto di misura. Perciò Protagora affermò che «l'uomo è la misura di tutte le cose», sottolineando il fatto che la misura non è una realtà esterna all'uomo e da lui indipendente. Ma coloro che avevano l'abitudine di guardare ogni cosa da un punto di vista esterno applicarono questo modo di vedere anche all'affermazione di Protagora. Essi conclusero perciò che la misura fosse qualcosa di arbitrario e soggetto ai capricci ed ai gusti di ciascun individuo, ignorando il fatto che essa è un'intuizione che deve aderire alla realtà complessiva in cui gli esseri umani vivono, come dimostrano la chiarezza di percezione e l'armonia d'azione a cui essa conduce. Questa intuizione può svilupparsi solo quando una persona lavora con serietà e onestà, privilegiando la verità e la fattualità rispetto ai propri capricci e desideri.

Questo generale irrigidimento e oggettivazione del concetto di misura continuò a svilupparsi finché, in epoca moderna, la parola 'misura' venne a significare soprattutto un processo di confronto con un campione esterno. Benché il significato originario sopravviva ancora in alcuni contesti particolari (per esempio nelle arti e in matematica), esso viene in generale sentito come secondario.

In Oriente invece il concetto di misura non ha avuto un ruolo altrettanto fondamentale. Nelle filosofie dominanti in Oriente l'immisurabile (ciò che non può essere denominato, descritto o compreso attraverso una qualsiasi forma di ragione) è stato considerato come la realtà primaria. Così in sanscrito (che ha la stessa origine delle lingue del gruppo indoeuropeo) la parola *matra* significa 'misura', in senso musicale, ed è evidentemente vicina al greco *metron*. Ma c'è un'altra parola derivata dalla stessa radice, *maya*, che significa 'illusione'. Questo è un punto estremamente significativo. Mentre per la società occidentale, che ha le sue origini in Grecia, la misura, con tutto ciò che questa pa-

rola implica, rappresenta l'essenza stessa della realtà, o per lo meno una chiave per accedere a tale essenza, in Oriente la misura è stata considerata come in qualche senso falsa e ingannevole. In questa visione, l'intera struttura e l'ordine delle forme, delle proporzioni e dei rapporti che si presentano alla percezione e alla ragione ordinarie sono considerati una specie di velo che copre la vera realtà, la quale sfugge ai sensi e di cui non è possibile dire o pensare alcunché.

È chiaro che i diversi cammini evolutivi delle due società corrispondono ai loro diversi atteggiamenti nei confronti della misura. In Occidente la società ha sottolineato soprattutto lo sviluppo della scienza e della tecnologia (che dipendono dalla misura), mentre l'Oriente si è indirizzato soprattutto verso la religione e la filosofia (che in senso ultimo sono tese verso l'immisurabile).

Se esaminiamo attentamente il problema, vediamo che in un certo senso l'Oriente ha ragione nel considerare l'immisurabile come la realtà primaria. Perché, come abbiamo detto, la misura è una modalità della percezione umana. Una realtà che trascende e precede l'essere umano non può dipendere da tale modalità percettiva. In effetti abbiamo visto che il tentativo di supporre la misura indipendente e preesistente agli esseri umani conduce alla 'oggettivazione' della percezione umana, che diventa rigida e incapace di evoluzione, generando a lungo andare la frammentazione e la generale confusione descritte in questo capitolo.

Possiamo immaginare che forse in tempi antichi quegli esseri umani che erano abbastanza saggi per cogliere il fatto che l'immisurabile è la realtà primaria fossero anche abbastanza saggi per accorgersi che la misura rappresenta una forma di percezione di un aspetto secondario e dipendente, ma tuttavia necessario, della realtà. Perciò questi antichi saggi concordavano forse con i Greci sul fatto che la misura potesse introdurre ordine e armonia nella nostra vita, pur vedendo contemporaneamente, e forse in maniera più profonda, che essa non può essere il fondamento ultimo della realtà.

Quel che forse questi saggi hanno detto è che quando la misura viene identificata con l'essenza della realtà, *questo* è illusione. Ma poi, quando la gente cominciò a imparare

questi concetti conformandosi agli insegnamenti tradizionali, il significato divenne in larga misura abituale e meccanico. Nello stesso modo accennnato sopra, la sottigliezza andò perduta e si cominciò a dire semplicemente: «La misura è illusione». Perciò sia in Oriente sia in Occidente è possibile che intuizioni vere siano state trasformate in qualcosa di falso e ingannevole dall'apprendimento meccanico e conforme a dottrine preesistenti, che si sostituì a una percezione creativa e originale delle intuizioni contenute in tali insegnamenti.

Naturalmente è impossibile ritornare allo stato di unità che può essere esistito prima della divisione fra Oriente e Occidente (se non altro perché sappiamo poco o nulla di quello stato). Ciò che occorre invece è imparare nuovamente, osservare e scoprire da noi stessi il significato dell'unità. Naturalmente dobbiamo conoscere gli insegnamenti del passato, occidentali e orientali; ma imitarli o cercare di conformarci a essi ha ben poco valore. Come abbiamo sottolineato in precedenza, sviluppare una nuova percezione della frammentazione e dell'unità richiede un lavoro creativo ancora più difficile di quello occorrente per fare una scoperta scientifica fondamentale o per creare una grande e originale opera d'arte. Possiamo dire a questo proposito che simile ad Einstein nella creatività non è chi imita le idee di Einstein, e neppure chi le applica in modi nuovi; bensì chi, avendo imparato da tali idee, propone una visione originale, capace di assimilare ciò che è valido nel lavoro di Eistein e nello stesso tempo di superarlo in modi qualitativamente nuovi. Perciò quello che dobbiamo fare, riguardo alla grande saggezza del passato, orientale e occidentale, è assimilarla e procedere verso nuove percezioni, appropriate alla nostra attuale situazione esistenziale.

Nel fare questo è importante che abbiamo una visione chiara della funzione delle tecniche, per esempio di quelle usate in varie forme di meditazione. Da un certo punto di vista le tecniche di meditazione possono essere considerate 'misure' (azioni ordinate dalla conoscenza e dalla ragione) con cui gli esseri umani mirano a raggiungere l'immisurabile, cioè una condizione in cui cessano di sentire una separazione fra sé e la totalità della realtà. Ma chiaramente questo concetto è contradditorio, perché l'immisurabile è,

ammesso che se ne possa dire qualcosa, proprio ciò che non è contenibile entro i limiti determinati dalla conoscenza e dalla ragione umana.

Sicuramente, in certi contesti specifici, delle misure tecniche, adottate nel giusto spirito, possono portarci a esperienze da cui traiamo delle intuizioni o percezioni profonde. Ma queste possibilità sono limitate. Per esempio, sarebbe una contraddizione in termini pensare di poter formulare delle tecniche per fare nuove scoperte scientifiche fondamentali o per creare grandi opere d'arte. L'essenza stessa di queste attività creative è una certa libertà dalle forme imposte dall'esterno. Come può essere trasmessa questa libertà in un'attività in cui conformarsi alla conoscenza di un altro è l'impulso principale? E, se le tecniche non possono insegnare l'originalità nelle arti o nelle scienze, tanto meno esse possono insegnarci a 'scoprire l'immisurabile'.

In verità non c'è nulla di diretto e positivo che gli esseri umani possano fare per entrare in contatto con l'immisurabile, perché esso non può che trascendere immensamente qualsiasi cosa essi siano in grado di comprendere con la mente o di realizzare con le proprie mani e i propri strumenti. Ciò che gli esseri umani possono fare è dedicare tutta la loro attenzione e la loro energia creativa all'impresa di far chiarezza e ordine nella totalita del campo della misura. Questo naturalmente coinvolge non solo la misura in senso esterno, ma anche la misura interna, come salute del corpo, moderazione nell'azione e meditazione (che aiuta a intuire la misura del pensiero).

Quest'ultimo aspetto è particolarmente importante, perché, come abbiamo visto, l'illusione che il sé e il mondo siano divisi in frammenti ha la sua origine in un tipo di pensiero che travalica la propria misura e scambia i propri prodotti per una realtà indipendente. Per mettere fine a questa illusione occorre sviluppare un'intuizione profonda non solo del mondo nella sua totalità, ma anche nel funzionamento dello strumento del pensiero. Questa intuizione richiede un atto originale e creativo di percezione di tutti gli aspetti della vita, mentali e fisici, sia attraverso i sensi sia attraverso la mente; ed è questo forse il vero significato della meditazione.

Come abbiamo visto, la frammentazione trae origine es-

senzialmente dalla fissazione delle percezioni che formano la nostra visione complessiva del sé-mondo, fissazione che deriva dalle nostre abitudini di pensiero generalmente meccaniche e ripetitive. Poiché la realtà primaria trascende qualsiasi cosa possa essere contenuta in queste misure fisse, tali percezioni cessano in generale di essere adeguate e generano varie forme di oscurità o confusione. Tuttavia, quando l'intero campo della misura sarà aperto a una percezione originale e creativa, senza limiti o barriere prefissati, la nostra visione complessiva del mondo cesserà di essere rigida, l'intero campo della misura troverà la propria armonia e in esso la frammentazione verrà a cessare. Ma una percezione originale e creativa dell'intero campo della misura è opera dell'immisurabile. La fonte di tale percezione non può trovarsi all'interno di idee già contenute nel campo della misura, bensì deve trovarsi nell'immisurabile, che contiene la causa formativa essenziale di tutto ciò che accade nel campo della misura. Il misurabile e l'immisurabile sono allora in armonia e in verità vediamo che essi non sono altro che modi diversi di considerare la totalità unica e indivisa.

Quando questa armonia prevale, gli esseri umani possono non solo intuire il significato dell'unità, ma anche, cosa molto più importante, realizzare la verità di questa intuizione in ogni fase e aspetto della loro vita.

Per questo, come Krishnamurti[1] ha sottolineato con grande forza e chiarezza, occorre che l'essere umano dedichi tutta la propria energia creativa all'indagine riguardante l'intero campo della misura. Fare ciò può essere estremamente arduo e difficile; ma siccome tutto dipende da questo, merita certamente una seria attenzione e una profonda considerazione da parte di ciascuno di noi.

NOTE

[1] *Vedi* per esempio J. Krishnamurti *Freedom from the Known*, Gollancz, Londra, 1969.

2

Il 'rheomodo': un esperimento con il linguaggio e con il pensiero

1. Introduzione

Nel capitolo precedente abbiamo indicato che il nostro pensiero viene frammentato soprattutto dal fatto di scambiarlo per un'immagine o modello di 'cos'è il mondo'. Le divisioni tracciate dal pensiero acquistano allora un'importanza sproporzionata, come se fossero una struttura onnipresente di effettive fratture indipendentemente esistenti in 'ciò che è', anziché semplicemente delle comode caratteristiche della descrizione e dell'analisi. Abbiamo visto che questo tipo di pensiero genera una radicale confusione, che tende a permeare ogni aspetto della vita e che in ultima istanza rende impossibile risolvere i problemi individuali e sociali. Abbiamo visto che è urgentemente necessario porre fine a questa confusione, facendo attenzione all'unità del contenuto del pensiero e dell'effettivo processo che produce tale contenuto.

In questo capitolo studieremo il contributo della struttura del linguaggio alla frammentazione del pensiero. Benché il linguaggio sia solo uno dei fattori che contribuiscono a questa tendenza, esso è chiaramente di fondamentale importanza nel pensiero, nella comunicazione e nell'organizzazione della società umana in generale.

Naturalmente è possibile anche osservare semplicemente il linguaggio così com'è, o com'è stato, in vari gruppi sociali e periodi storici; ma quel che vogliamo fare in questo capitolo è *sperimentare* dei cambiamenti nella struttura del linguaggio comune. In questo esperimento il nostro scopo non è quello di produrre un'alternativa ben definita alle attuali strutture linguistiche. È piuttosto quello di vedere come cambi la funzione del linguaggio quando lo modifichiamo, il che può permetterci di sviluppare certe intuizioni su come il linguaggio contribuisca alla frammentazione generale. Uno dei modi migliori per capire il modo in cui siamo condizionati da un'abitudine (e l'uso comune del linguaggio è in larga misura proprio questo) è esaminare attentamente le nostre reazioni quando 'sperimentalmente' osserviamo che cosa succede facendo qualcosa di significativamente diverso dalla funzione abituale ed automatica. Perciò il punto fondamentale dell'esperimento discusso in questo capitolo è l'invito a fare un primo passo in direzione di quella che potrebbe diventare una sperimentazione illimitata con le forme linguistiche (e con il pensiero). Noi proponiamo che questa sperimentazione vada considerata un'attività normale dell'individuo e della società (così come in questi ultimi secoli è avvenuto per la sperimentazione sulla natura e sugli esseri umani stessi). In questo modo il linguaggio (ed il pensiero in esso implicito) diverrà un campo di funzioni fra gli altri e cesserà di essere in pratica l'unico campo esente dalla ricerca sperimentale.

2. Un esame del nostro linguaggio

Nelle ricerche scientifiche un passo cruciale consiste nel formulare la domanda giusta. Ogni domanda contiene dei presupposti, in gran parte impliciti. Se questi presupposti sono sbagliati o confusi, la domanda stessa risulta sbagliata, nel senso che non ha senso cercare una risposta. Dobbiamo perciò in primo luogo *esaminare l'appropriatezza della domanda*. Le scoperte veramente originali in campo scientifico e in altri campi partono spesso da un tale esame delle vecchie domande, che ne mette in luce la natura inappropriata e permette così di formulare nuove domande. Questo esame è sovente difficile, perché i presupposti possono essere profondamente nascosti nella struttura del nostro pensiero. (Per esempio, Einstein si rese conto che le domande che avevano a che fare con lo spazio, il tempo e la natura particellare della materia, concetti comunemente accettati nella fisica dei suoi tempi, comportavano dei

presupposti confusi che andavano abbandonati. In questo modo egli poté formulare nuove domande, che portarono a concezioni radicalmente nuove.)

Quale sarà allora la nostra domanda, nell'intraprendere questo esame del nostro linguaggio (e pensiero)? Partiamo dal fatto della frammentazione generale. Possiamo chiederci preliminarmente se ci siano delle caratteristiche del linguaggio che usiamo comunemente che tendono a mantenere, sviluppare e forse a riflettere questa frammentazione. Un rapido esame rivela immediatamente che una caratteristica importante di questo genere è la struttura soggetto-verbo-complemento oggetto delle frasi, comune alla grammatica e alla sintassi delle lingue moderne. Questa struttura implica che ogni azione ha la sua origine in un'entità separata, il soggetto, e, ove si tratti di un verbo transitivo, attraversa lo spazio che la divide da un'altra entità separata, l'oggetto. (Se il verbo è intransitivo o riflessivo, il soggetto è ancora considerato un'entità separata e l'azione è vista come una proprietà del soggetto oppure come un'attività che si riversa sul soggetto stesso.)

Questa è una struttura onnipresente, che introduce in ogni aspetto della vita una forma di pensiero che tende a dividere le cose in entità separate, concepite come di natura essenzialmente fissa e statica. Portando questa forma di pensiero al suo limite ultimo arriviamo alla visione del mondo dominante nelle scienze oggi, che considera ogni cosa come costituita da un insieme di particelle elementari di natura fissa.

La struttura soggetto-verbo-complemento oggetto del linguaggio tende a imporsi molto fortemente nel nostro discorso anche in quei casi in cui è evidentemente inappropriata. Per esempio, considera la frase inglese *it is raining* (piove). Dov'è l'*it* che in questa frase compie l'azione di piovere? Chiaramente sarebbe più appropriato dire *rain is going on*. Analogamente in fisica diciamo abitualmente che «una particella elementare agisce su un'altra particella». Ma, come abbiamo visto nel capitolo precedente, le particelle sono solo astrazioni di forme relativamente invarianti di movimento nel campo complessivo dell'universo. Perciò sarebbe più preciso dire che «le particelle elementari sono movimenti mutualmente dipendenti perché in senso ultimo si

fondono e si compenetrano». La stessa cosa vale anche a livello macroscopico. Invece di dire «l'osservatore guarda un oggetto», potremmo dire in maniera più appropriata: «L'osservazione accade, in un movimento indiviso che coinvolge quelle astrazioni che abitualmente chiamiamo 'essere umano' e 'oggetto osservato'».

Queste considerazioni sulle implicazioni della struttura delle frasi suggeriscono un'altra domanda. È possibile cambiare la forma sintattica e grammaticale del linguaggio in modo tale da assegnare il ruolo fondamentale al verbo, anziché al sostantivo? Questo contribuirebbe a metter fine al tipo di frammentazione sopra indicato, perché i verbi descrivono azioni e movimenti che fluiscono e si mescolano l'uno nell'altro, senza separazioni o fratture nette. Inoltre, siccome i movimenti sono essi stessi in generale in costante mutamento, non contengono una forma fissa con cui identificare cose separatamente esistenti. Un approccio cosiffatto evidentemente combacia con la visione del mondo complessiva discussa nel capitolo precedente, in cui il movimento viene assunto come il concetto primario, mentre le cose in apparenza statiche e separatamente esistenti sono viste come stati relativamente invarianti di un movimento continuo (ricorda l'esempio dei vortici).

In certe lingue antiche, per esempio nell'ebraico, il verbo funge in effetti da elemento primario nel senso sopra descritto. Così, nell'ebraico la radice di quasi tutte le parole è una forma verbale e avverbi, aggettivi e sostantivi si ottengono modificando la forma verbale con l'apposizione di prefissi o suffissi e in altri modi. Nell'uso effettivo dell'ebraico moderno, tuttavia, come nelle altre lingue moderne, il sostantivo tende comunque ad assumere un significato primario, pur essendo costruito dal punto di vista grammaticale a partire da una radice verbale.

Qui dobbiamo evidentemente cercare una struttura in cui il verbo abbia realmente una funzione primaria. Non serve assegnare al verbo un ruolo formalmente primario e continuare a pensare in termini di un insieme di oggetti separati e identificabili come elementi fondamentali. Dire una cosa e farne un'altra in questo modo è una forma di confusione che non può che aumentare la frammentazione generale, anziché contribuire a ridurla.

Tuttavia, inventare improvvisamente tutto un nuovo linguaggio con una struttura di pensiero radicalmente diversa non è chiaramente una scelta praticabile. Quello che possiamo fare, provvisoriamente e sperimentalmente, è introdurre un *nuovo modo* di uso del linguaggio. Abbiamo già, per esempio, nel linguaggio ordinario i modi verbali (indicativo, congiuntivo, imperativo, eccetera). Quando impariamo a parlare, impariamo a servirci di ciascuno di questi modi secondo la necessità, senza bisogno di una scelta cosciente. Analogamente, ora prenderemo in considerazione un modo del linguaggio in cui il movimento ha un ruolo primario nel pensiero e questo ruolo viene incorporato nella struttura del linguaggio dando al verbo, anziché al sostantivo, una funzione primaria. Sviluppando questo modo e praticandolo per un po', impareremo a usarlo in modo tale che entri in azione secondo la necessità, senza bisogno di una scelta cosciente da parte nostra.

Per comodità daremo un nome a questo modo: lo chiameremo 'rheomodo' (*rheo* deriva da un verbo greco che significa 'fluire'). Per lo meno inizialmente il rheomodo sarà un esperimento nell'uso del linguaggio, mirante soprattutto a scoprire se sia possibile sviluppare una nuova struttura meno tendente alla frammentazione dell'attuale. Evidentemente perciò la nostra ricerca dovrà partire dal ruolo del linguaggio nel formare le nostre visioni del mondo complessive e nell'esprimerle come idee filosofiche. Perché, come abbiamo visto nel capitolo precedente, queste visioni del mondo e le loro formulazioni generali (che contengono presupposti taciti su tutto, la natura, la società, noi stessi, il linguaggio, eccetera) svolgono attualmente un ruolo fondamentale nel produrre e mantenere la frammentazione in ogni aspetto della vita. Perciò cominceremo usando il rheomodo soprattutto in maniera sperimentale. Come abbiamo già detto, per fare questo occorre prestare attenzione a come il pensiero e il linguaggio effettivamente funzionano, cosa che va al di là di una pura considerazione del loro contenuto.

In questa indagine prenderemo in considerazione soprattutto domande che hanno a che fare con le implicazioni generali delle nostre visioni del mondo, domande che vengono attualmente formulate prevalentemente nello studio della filosofia, della psicologia, dell'arte, della scienza, della matematica, ma soprattutto del pensiero e del linguaggio stessi. Naturalmente questi problemi possono essere discussi anche tramite l'attuale struttura del linguaggio. Benché tale struttura sia dominata dalla forma portatrice di divisione soggetto-verbo-complemento oggetto, essa contiene anche una ricca e complessa varietà di altre forme, usate per lo più *tacitamente* e per *implicazione* (soprattutto in poesia, ma più in generale in tutte le modalità di espressione artistica). La forma dominante soggetto-verbo-complemento oggetto tende tuttavia a riportarci continuamente alla frammentazione; ed è evidente che il tentativo di evitarla usando abilmente altre caratteristiche del linguaggio può funzionare solo limitatamente, perché in forza dell'abitudine, prima o poi, specialmente nei grandi problemi riguardanti la visione complessiva del mondo, tendiamo a ricadere senza rendercene conto nel modo di funzionare frammentario implicito nella struttura fondamentale. La ragione di ciò non è solo il fatto che la forma soggetto-verbo-complemento oggetto implica continuamente una divisione inappropriata fra le cose. Ancor più è il fatto che l'uso ordinario del linguaggio tende a dare per scontata la propria funzione e perciò a concentrarsi quasi esclusivamente sul contenuto, senza prestare quasi attenzione alla propria funzione simbolica. Ma, come abbiamo visto, è proprio qui che nasce fondamentalmente la frammentazione. Poiché il modo ordinario di pensiero e di uso del linguaggio non presta adeguatamente attenzione alla propria funzione, quest'ultima sembra sorgere in seno a una realtà indipendente dal pensiero e dal linguaggio, cosicché le divisioni implicite nella struttura del linguaggio vengono proiettate all'esterno come se fossero frammentazioni reali, effettive fratture in 'ciò che è'.

Tale percezione frammentaria sostiene a sua volta l'illusione che la funzione del pensiero e del linguaggio sia già adeguatamente studiata e che non vi sia alcun serio problema del tipo indicato sopra. Si può pensare per esempio che, come la funzione del mondo naturale è studiata dalla fisica, quella della società dalla sociologia e quella della mente dalla psicologia, così la funzione del linguaggio sia adeguatamente studiata dalla linguistica. Questa concezione sarebbe appropriata solo se questi campi fossero in effetti

chiaramente separati e costanti o in lento mutamento, così da rendere i risultati ottenuti in ciascuno di essi rilevanti in tutte le occasioni e circostanze di applicazione. Ma abbiamo già sottolineato il fatto che in questioni di portata tanto ampia e profonda questa separazione è inappropriata. Inoltre il punto cruciale qui è fare attenzione al linguaggio (e al pensiero) di cui ci serviamo, momento per momento, nello studio della funzione stessa del linguaggio, così come in ogni altra forma di ricerca. Perciò non è una soluzione adeguata isolare il linguaggio come un particolare campo di ricerca e considerarlo come una cosa relativamente statica, che cambia solo lentamente (o per nulla) mentre lo studiamo.

È chiaro quindi che nello sviluppo del rheomodo dovremo essere particolarmente consapevoli della necessità che il linguaggio richiami l'attenzione sulla propria funzione nel momento stesso in cui la esplica. In questo modo non solo riusciremo forse a pensare più coerentemente ai grandi problemi relativi alla visione generale del mondo, ma potremo comprendere meglio anche il funzionamento del modo ordinario del linguaggio, in modo da riuscire a usare più coerentemente anche lo stesso linguaggio ordinario.

3. La forma del rheomodo

Passiamo ora a studiare in maggior dettaglio quale possa essere un'adatta forma di espressione per il rheomodo.

Come primo passo, possiamo chiederci se la ricca e complessa struttura informale del linguaggio comune non contenga già, magari solo in forma rudimentale, qualche caratteristica che possa richiamare l'attenzione sulla funzione reale del pensiero e del linguaggio. Esaminando la cosa, vediamo che in effetti vi sono delle caratteristiche di questo genere. L'esempio più lampante è forse l'uso (e l'abuso) che oggi vien fatto della parola 'rilevante' (che può forse rappresentare una sorta di 'brancolamento' alla ricerca di quell'attenzione alla funzione reale del linguaggio che viene sentita quasi inconsciamente come importante).

La parola 'rilevante' deriva dal verbo 'rilevare', il cui significato è essenzialmente 'sollevare all'attenzione', facendo sì che il contenuto sollevato appaia 'in rilievo'. Quando un contenuto sollevato all'attenzione è coerente o appropriato al contesto in esame, diciamo che esso è *rilevante*; quando non è appropriato diciamo che è *irrilevante*.

Possiamo prendere come esempio gli scritti di Lewis Carroll, che sono pieni di umorismo che nasce dall'uso dell'irrilevante. Per esempio, in *Attraverso lo specchio* c'è una conversazione fra il Cappellaio Matto e la Lepre Marzolina che contiene la frase: «Questo orologio non funziona, malgrado io abbia usato il miglior burro». Questa frase solleva all'attenzione il concetto irrilevante che la qualità del burro influisca sul funzionamento degli orologi, concetto che non combacia con il contesto della struttura degli orologi.

Nel dichiarare qualcosa rilevante o irrilevante trattiamo il pensiero e il linguaggio come realtà, allo stesso livello del contesto a cui si riferiscono. In effetti, enunciando un tale giudizio esaminiamo contemporaneamente il contesto e la funzione del pensiero e del linguaggio, per vedere se combaciano. Perciò, cogliere la rilevanza o irrilevanza di un'affermazione è essenzialmente un atto percettivo di ordine molto alto, simile a quello che ne coglie la verità o la falsità. In un certo senso la questione della rilevanza precede quella della verità, perché chiederci se un'affermazione sia vera o falsa presuppone che sia rilevante (cercare di determinare la verità o falsità di un'affermazione irrilevante è una forma di confusione). Ma in un senso più profondo cogliere la rilevanza o irrilevanza di un'affermazione è evidentemente un aspetto della percezione della verità in senso complessivo.

Chiaramente l'atto di cogliere la rilevanza o irrilevanza non è riducibile a una tecnica o a un metodo, determinato da un insieme di regole. È piuttosto un'*arte*, sia nel senso che richiede una percezione creativa, sia nel senso che questa percezione va ulteriormente sviluppata in un'abilità specifica (come accade per il lavoro di un artigiano).

Perciò non è giusto, per esempio, considerare la distinzione fra rilevanza e irrilevanza come una forma di conoscenza di una proprietà delle varie affermazioni (dicendo, per esempio, che alcune affermazioni 'posseggono' la proprietà di essere rilevanti, mentre altre no). Invece, una enunciazione di rilevanza o irrilevanza comunica una per-

cezione che avviene nel momento stesso in cui viene espressa e nel contesto specifico indicato in quel momento. Quando il contesto cambia, un'affermazione inizialmente rilevante può cessare di esserlo, o viceversa. E non si può nemmeno dire che una data affermazione sia necessariamente o rilevante o irrilevante, senza altre possibilità. In molti casi il contesto complessivo può essere tale da non permettere di percepire chiaramente se l'affermazione sia pertinente o meno. Questo vuol dire che occorre saperne di più e che la questione è, per così dire, in uno stato fluido. Perciò, quando comunichiamo la rilevanza o irrilevanza di qualcosa, ciò va inteso non come una distinzione netta fra categorie contrapposte, ma piuttosto come l'espressione di una percezione costantemente mutevole, che vede, per il momento, il contenuto sollevato alla luce dell'attenzione combaciare o meno con il contesto a cui si riferisce.

Attualmente questo combaciare o meno viene discusso per mezzo di un linguaggio la cui struttura è basata sui sostantivi (dicendo, per esempio, che 'questo concetto è rilevante'). Questa struttura implica perciò formalmente una divisione netta fra rilevanza e irrilevanza e introduce così continuamente una tendenza alla frammentazione anche in quelle comunicazioni la cui funzione è richiamare l'attenzione sulla totalità formata dal linguaggio e dal contesto in cui viene usato.

Come abbiamo già detto, a volte riusciamo a superare questa tendenza alla frammentazione usando il linguaggio in maniera più libera, informale e poetica, capace di comunicare adeguatamente la natura fluida della differenza fra rilevanza e irrilevanza. Non possiamo tuttavia ottenere lo stesso risultato in maniera più coerente ed efficace trattando la questione della rilevanza nel quadro del rheomodo, dove non sorgono divisioni rigide perché il verbo assume il ruolo fondamentale in luogo del sostantivo?

Per rispondere a questa domanda, cominciamo con l'osservare che il verbo 'rilevare', da cui deriva l'aggettivo 'rilevante', viene dalla radice *levare*, che significa, naturalmente, 'sollevare'. Come primo passo nello sviluppo del rheomodo, proponiamo allora che il verbo 'levare' significhi: 'l'atto spontaneo e non delimitato di sollevare all'attenzione qualsiasi contenuto, che comprende il sollevare

all'attenzione la domanda se quel contenuto combaci o meno con un contesto più ampio ed anche il sollevare all'attenzione la funzione di *richiamare l'attenzione* svolta dal verbo stesso'. Questo implica un'illimitata ampiezza e profondità di significato, non racchiusa entro limiti statici.

Poi introduciamo il verbo 'ri-levare'. Questo significa: 'sollevare di nuovo all'attenzione un certo contenuto, in rapporto a un particolare contesto indicato dal pensiero e dal linguaggio'. Qui dobbiamo sottolineare che 'ri' significa 'di nuovo', cioè in una nuova occasione. Quindi implica il *tempo* e la somiglianza (così come la differenza, perché ciascuna occasione è non solo simile, ma anche diversa).

Come abbiamo indicato in precedenza, l'azione descritta dal verbo richiede un atto percettivo per vedere, in ciascun caso, se il contenuto 'sollevato di nuovo' combacia o meno con il contesto in questione. In quei casi in cui la percezione ci mostra che essi combaciano, diciamo che 'ri-levare è ri-levante' (nota il trattino, il cui uso è essenziale qui: la parola va pronunciata con una pausa, indicata dal trattino). In quei casi in cui la percezione ci mostra che contenuto e contesto non combaciano, diciamo che 'ri-levare è irri-levante'.

Vediamo dunque che questi aggettivi sono stati costruiti a partire dal verbo come radice. Possiamo costruire nello stesso modo anche i sostantivi, che non significheranno oggetti separati, bensì stati continuativi della particolare attività indicata dal verbo. Perciò il sostantivo 'ri-levazione' significa 'uno stato continuativo di sollevamento di un dato contenuto all'attenzione'.

Protrarre una ri-levazione quando essa diviene irrilevante sarà allora detto 'irri-levazione'. Essenzialmente l'irri-levazione indica che non c'è un'attenzione adeguata. Quando un contenuto è irri-levante, esso va normalmente prima o poi lasciato cadere: se questo non succede, vuol dire che per qualche verso non siamo consapevoli e attenti. L'irri-levazione implica perciò che occorre fare attenzione al fatto che c'è una carenza di attenzione. *L'attenzione a questa carenza di attenzione è naturalmente il gesto che mette fine alla irri-levazione.*

Infine introduciamo il sostantivo 'levazione', che significa una specie di totalità generalizzata e illimitata degli atti

di sollevamento all'attenzione (questo sostantivo differisce dal verbo 'levare', che indica un singolo atto spontaneo e non delimitato di sollevamento all'attenzione).

Chiaramente, usare una struttura linguistica costruita in questo modo a partire da una radice verbale ci permette di discutere quella che viene comunemente detta 'rilevanza' in un modo non frammentario, perché la forma del linguaggio non ci induce più a considerare quella cosa che viene detta 'rilevanza' come se fosse una qualità fissa e separata. E, cosa ancora più importante, non tracciamo più una separazione fra il significato del verbo 'levare' e la funzione che esso svolge quando ce ne serviamo. Vale a dire, 'levare' non è soltanto prendere in considerazione il pensiero di sollevare un certo contenuto non delimitato all'attenzione, ma è anche intraprendere l'azione stessa di sollevare tale contenuto non delimitato all'attenzione. Il pensiero non è perciò una pura astrazione, che non si riferisce ad alcuna percezione concreta: accade invece effettivamente qualcosa che combacia con il significato della parola, e possiamo, nel momento stesso in cui ci serviamo della parola, percepire il modo in cui il suo significato combacia con ciò che accade. Perciò il contenuto del pensiero e la sua effettiva funzione sono visti e sentiti come una cosa sola; e capiamo così che cosa possa significare far cessare la frammentazione alla sua stessa origine.

Evidentemente è possibile generalizzare questo modo di costruire forme linguistiche, prendendo qualsiasi verbo come radice. Diremo allora che il rheomodo è caratterizzato essenzialmente da questo modo di usare i verbi.

Per esempio, consideriamo il verbo latino *videre*, che significa 'vedere'. Introduciamo la radice verbale *vidare*, che non significherà soltanto 'vedere' in senso visivo, ma si riferirà a tutti gli aspetti della percezione, compreso lo stesso atto del comprendere, che è l'apprensione di una totalità che include la percezione sensoriale, l'intelletto, i sentimenti, eccetera. (Per esempio, nel linguaggio comune 'vedo' e 'capisco' possono essere usati in maniera interscambiabile.) Perciò il verbo *vidare* richiamerà l'attenzione su un atto percettivo spontaneo e non delimitato di qualsiasi genere, compresa la percezione del fatto che ciò che è visto combacia o meno con 'ciò che è', e la percezione della

stessa funzione di richiamare l'attenzione svolta dalla parola stessa. Perciò, come accade con 'levare', non c'è frattura fra contenuto (significato) della parola e funzione complessiva che svolge.

Passiamo poi a considerare il verbo 'ri-vidare', che significa percepire *di nuovo* un dato contenuto, indicato da una parola o pensiero. Se vediamo che tale contenuto combacia con il contesto indicato, diciamo che 'ri-vidare è ri-vidante'. Se vediamo che non combacia, naturalmente diciamo che 'ri-vidare è irri-vidante' (il che significa, secondo l'uso ordinario del linguaggio, che si tratta di una percezione erronea o illusoria).

La 'ri-vidazione' è allora uno stato continuativo di percezione di un certo contenuto, mentre la 'irri-vidazione' è uno stato continuativo di illusione o inganno rispetto a un certo contenuto. Evidentemente (come accade per l'irri-levazione) l'irri-vidazione implica una carenza di attenzione e prendere in considerazione questa carenza di attenzione mette fine alla irri-vidazione.

Infine, il sostantivo 'vidazione' indica una totalità generalizzata e non delimitata di atti percettivi. Chiaramente la *vidazione* non va nettamente distinta dalla *levazione*, in quanto in un atto di vidazione è necessario sollevare un contenuto all'attenzione e in un atto di levazione è necessario vidare tale contenuto. Perciò i due movimenti della vidazione e della levazione si mescolano e si compenetrano. Ciascuna di queste due parole si limita a sottolineare (cioè a ri-levare) un certo aspetto del movimento in generale. Troveremo che questo vale per tutte le radici verbali del rheomodo. Tutte si implicano a vicenda e si trasformano l'una nell'altra. Perciò il rheomodo rivela una certa unità che non è caratteristica dell'uso ordinario del linguaggio (benché sia in esso potenzialmente presente, nel senso che, se partiamo dal movimento come primario, possiamo analogamente dire che tutti i movimenti sfumano l'uno nell'altro, si fondono e si compenetrano).

Passiamo ora a considerare il verbo 'dividere'. Lo intenderemo come combinazione del verbo *videre* e del prefisso *di*, che implica separazione. Perciò 'dividere' significherà *vedere come separato*[1].

Introduciamo allora il verbo *di-vidare*[2]. Questa parola

richiama l'attenzione sull'atto spontaneo di vedere le cose come separate in qualsiasi forma, compreso l'atto di vedere se tale percezione combacia o meno con 'ciò che è' e anche quello di vedere come la funzione di questa parola contenga in sé una forma di divisione intrinseca. Da questo punto di vista possiamo osservare che esiste una chiara differenza fra la parola 'di-vidare' e la parola 'vidare', da cui deriva. Non solo 'di-vidare' implica un *contenuto* (o significato) di divisione, ma l'uso stesso della parola produce una funzione ben descritta dal concetto di divisione.

Consideriamo ora il verbo 'ri-dividare', che significa percepire di nuovo con il pensiero e con il linguaggio un dato contenuto in termini di un particolare tipo di separazione o divisione. Se vediamo che fare ciò combacia con il contesto indicato, diciamo che 'ri-dividare è ri-dividante', altrimenti diciamo che 'ri-dividare è irri-dividante'.

La 'ri-dividazione' è allora uno stato continuativo in cui vediamo un certo contenuto sotto forma di separazione o divisione, e la 'irri-dividazione' è uno stato continuativo in cui vediamo separazione là dove nel linguaggio ordinario diremmo che la separazione è irrilevante.

L'irri-dividazione è chiaramente essenzialmente la stessa cosa della frammentazione. Perciò diviene evidente che la frammentazione non può in alcun modo essere positiva, perché significa non solo vedere le cose come separate, ma continuare a farlo in un contesto con cui questo modo di vedere non combacia. Portare avanti indefinitamente l'irri-dividazione è possibile solo per effetto di una carenza di attenzione, e l'irri-dividazione ha fine precisamente attraverso l'atto di portare l'attenzione a questa carenza di attenzione.

Il sostantivo 'di-vidazione', infine, significa una totalità generalizzata e non delimitata di atti di visione delle cose come separate. Come abbiamo detto, la di-vidazione implica una divisione nella funzione della parola stessa, nel senso che la di-vidazione è vista come diversa dalla vidazione. Ma questa differenza esiste solo in contesti limitati e non va presa come una frammentazione o come un'effettiva frattura fra i significati e le funzioni delle due parole. La loro forma stessa indica invece che la di-vidazione è una sorta di vidazione, in verità un caso particolare di quest'ultima.

Perciò in senso ultimo l'unità è primaria: i significati e le funzioni delle due parole si trasformano l'uno nell'altro, si fondono e si compenetrano. La divisione appare come un comodo mezzo per dare una descrizione più articolata e dettagliata del tutto, anziché come una frammentazione in 'ciò che è'.

Il movimento che va dalla divisione all'unità di percezione passa attraverso l'azione dell'*ordinare* (che è discussa in maggior dettaglio nel capitolo 5). Per esempio, un righello può venir diviso in centimetri. Ma questa divisione è solo un mezzo comodo per esprimere un *semplice ordine sequenziale*, con cui possiamo capire e comunicare qualcosa che riguarda la totalità di un oggetto che viene appunto misurato con quel righello.

Questo semplice concetto di ordine sequenziale, espresso in termini di divisioni regolari di una linea che formano una scala graduata, ci aiuta nelle nostre opere di costruzione, nei nostri viaggi e spostamenti sulla superficie della Terra e nello spazio ed in un'ampia gamma di attività pratiche e scientifiche. Ma naturalmente sono possibili anche ordini più complessi, che vanno espressi in termini di divisioni e di categorie di pensiero più sottili, significative per forme più sottili di movimento. Per esempio, ci sono il movimento della crescita, dello sviluppo e dell'evoluzione degli esseri viventi, il movimento di una sinfonia, il movimento che è l'essenza della vita stessa, e così via. Tutti questi movimenti vanno evidentemente descritti in modi diversi, in generale non riducibili a semplici ordini sequenziali.

Al di là di tutti questi ordini c'è quello del movimento dell'attenzione. Esso deve combaciare con l'ordine di ciò che viene osservato, altrimenti non riusciamo a vedere quello che c'è da vedere. Per esempio, se cerchiamo di ascoltare una sinfonia mentre la nostra attenzione è catturata da un ordine temporale sequenziale del tipo di quello indicato da un orologio, non riusciamo a cogliere gli ordini sottili che costituiscono il significato essenziale della musica. Evidentemente la nostra capacità di percepire e capire è limitata dalla libertà con cui l'ordine della nostra attenzione può cambiare per adattarsi all'ordine di ciò che viene osservato.

È chiaro allora che, nel capire il vero significato delle divisioni tracciate dal pensiero e dal linguaggio per nostra co-

modità, il concetto di ordine ha un ruolo fondamentale. Per discutere questo concetto nell'ambito del rheomodo introduciamo la radice verbale 'ordinare'. Questa parola richiama l'attenzione su un atto spontaneo e non delimitato di ordinamento di qualsiasi tipo, compreso l'ordinamento richiesto dal vedere se un certo ordine particolare combacia o meno con un certo contesto osservato e anche l'ordinamento che corrisponde alla funzione stessa di richiamare l'attenzione su un dato contenuto. Perciò 'ordinare' non significa soltanto 'pensare a un ordine', bensì intraprendere l'atto stesso di ordinare l'attenzione, facendo nel contempo attenzione anche ai propri pensieri riguardo all'ordine. Ancora una volta incontriamo quell'unità di significato e funzione di una parola che è un aspetto essenziale del rheomodo.

'Ri-ordinare' significa allora portare di nuovo l'attenzione a un dato ordine tramite il linguaggio e il pensiero. Se vediamo che quest'ordine combacia con ciò che viene osservato nel contesto in discussione, diciamo che 'ri-ordinare è ri-ordinante'. Altrimenti diciamo che 'ri-ordinare è irri-ordinante' (come avviene, per esempio, quando cerchiamo di applicare una griglia lineare a un complesso intrico di viuzze).

Il sostantivo 'ri-ordinazione' descrive allora uno stato continuativo di richiamo dell'attenzione su un certo ordine. Uno stato persistente di ri-ordinazione in un contesto irri-ordinante verrà chiamato 'irri-ordinazione'. Come per tutti gli altri verbi, l'irri-ordinazione è possibile solo per effetto di una carenza di attenzione e termina quando l'attenzione viene portata precisamente a questa carenza di attenzione.

Il sostantivo 'ordinazione', infine, significa naturalmente una totalità non delimitata e generalizzata di atti di ordinamento. Evidentemente l'ordinazione implica la levazione, la vidazione e la di-vidazione, così come queste ultime implicano l'ordinazione.

Per esempio, per vedere se un certo contenuto è rilevante, l'attenzione va adeguatamente ordinata per percepire questo contenuto, va creato un appropriato insieme di divisioni o categorie nel pensiero, e così via.

Quanto detto dovrebbe bastare a dare almeno un'idea generale del funzionamento del rheomodo. A questo punto può essere utile mettere in evidenza la struttura complessiva del rheomodo elencando le parole che abbiamo usato finora.

Levare, ri-levare, ri-levante, irri-levante, levazione, ri-levazione, irri-levazione.
Vidare, ri-vidare, ri-vidante, irri-vidante, vidazione, ri-vidazione, irri-vidazione.
Di-vidare, ri-dividare, ri-dividante, irri-dividante, di-vidazione, ri-dividazione, irri-dividazione.
Ordinare, ri-ordinare, ri-ordinante, irri-ordinante, ordinazione, ri-ordinazione, irri-ordinazione.

Possiamo notare che il rheomodo comporta in primo luogo una nuova costruzione grammaticale, in cui i verbi sono usati in modo nuovo. Ma un'altra novità consiste nel fatto che la sintassi copre non solo la disposizione di parole già date in frasi, ma anche un insieme sistematico di regole per formare nuove parole.

Naturalmente questa formazione di parole avviene da sempre in quasi tutte le lingue (per esempio, la parola 'rilevante' è costruita a partire dalla radice 'levare' con l'aggiunta del prefisso 'ri' e la sostituzione della terminazione dell'infinito 'are' con quella del participio presente 'ante'). Ma essa si è sviluppata soprattutto in maniera casuale, probabilmente per soddisfare il bisogno di esprimere varie relazioni utili. E, in ogni caso, una volta formate le parole, si è per lo più perso di vista la loro genesi, considerando tendenzialmente ogni parola come una 'unità elementare' e trascurando l'influenza della costruzione originaria delle parole sul loro significato. Nel rheomodo, invece, la costruzione delle parole non è casuale, bensì svolge una funzione primaria nel rendere possibile tutto un nuovo modo di usare il linguaggio, ed è costantemente messa in evidenza dal fatto che i significati dipendono in maniera essenziale dalle forme di tale costruzione.

Può essere utile qui fare un confronto con ciò che è avvenuto nello sviluppo della scienza. Come abbiamo visto nel precedente capitolo, la visione del mondo scientifica dominante è stata finora quella che fondamentalmente descri-

veva tutto in termini di combinazioni di certe unità elementari 'particelle'. Questo atteggiamento si accorda bene con la tendenza dominante nell'uso corrente del linguaggio a trattare le parole come 'unità elementari', le cui combinazioni esprimono tutto ciò che può essere detto.

Naturalmente è possibile introdurre occasionalmente nuove parole per arricchire l'uso ordinario del linguaggio (così come possono essere introdotte in fisica nuove particelle elementari). Ma nel rheomodo ci spingiamo oltre e trattiamo la costruzione delle parole come essenzialmente simile alla costruzione delle frasi, dei paragrafi, eccetera. Lasciamo cadere l'atteggiamento 'atomistico' nei confronti delle parole e adottiamo un punto di vista più simile a quello della teoria dei campi in fisica, dove le 'particelle' sono solo convenienti astrazioni in seno al movimento complessivo. Analogamente, possiamo dire che il linguaggio è un campo di movimento indiviso, che coinvolge suono, significato, movimento dell'attenzione, riflessi emotivi e muscolari, eccetera. È in una certa misura arbitrario dare un significato eccessivo alla separazione fra le parole, come attualmente viene fatto. In effetti le relazioni fra le varie parti di una parola possono essere molto simili a quelle fra parole diverse. Perciò nel rheomodo la parola non viene più considerata un 'atomo indivisibile di significato', ma viene vista soltanto come una comoda suddivisione nel movimento unitario del linguaggio, né più né meno fondamentale della frase, del paragrafo, eccetera. (Questo significa che questo modo di fare attenzione alle componenti delle parole non è primariamente un atteggiamento analitico, bensì un approccio che permette un flusso indiviso di significato.)

Possiamo farci una certa idea del significato di questo diverso atteggiamento nei confronti delle parole considerando il linguaggio come una particolare forma di ordine. Il linguaggio non si limita a richiamare l'attenzione sull'ordine: esso *è* un ordine di suoni, parole, strutture di parole, sfumature della frase e del gesto, eccetera. Evidentemente il significato di una comunicazione linguistica dipende in maniera essenziale dall'ordine che il linguaggio è. Quest'ordine è più simile a quello di una sinfonia, in cui ogni aspetto e movimento va capito alla luce della sua relazione con il tutto, che al semplice ordine sequenziale di un orologio o

di un righello. E, siccome l'ordine dei suoni *all'interno* di una parola è, come abbiamo visto, un aspetto inseparabile del suo significato globale, possiamo sviluppare regole grammaticali e sintattiche che usino sistematicamente quest'ordine per arricchire le possibilità comunicative e di pensiero contenute nel linguaggio.

4. Verità e fatto nel rheomodo

Nell'uso ordinario del linguaggio la verità è un sostantivo, che perciò sta per qualcosa che si può afferrare una volta per tutte o a cui ci si può per lo meno avvicinare gradualmente. Oppure verità e falsità sono considerate delle *proprietà* che si applicano alle affermazioni. Ma in effetti la verità e la falsità, come la rilevanza e l'irrilevanza, vanno viste momento per momento, in un atto percettivo di ordine molto alto. Così, la verità o falsità *del contenuto* di un'affermazione può essere colta osservando se tale contenuto combacia con un contesto più ampio, che è indicato nell'affermazione stessa o tramite un'azione o un gesto (come quello di additare qualcosa) che la accompagna. Ma quando arriviamo ad affermazioni relative alla visione del mondo, che hanno a che fare con la 'totalità di tutto ciò che è', non è possibile definire chiaramente il contesto a cui si riferiscono. Perciò dobbiamo sottolineare la *verità in funzione*, cioè ammettere la possibilità di un libero movimento e mutamento nei nostri concetti generali della realtà nel suo insieme, in modo da consentire un continuo adeguamento a nuove esperienze che trascendono i limiti di precedenti concetti (*vedi* i capitoli 3 e 7 per un'ulteriore discussione di questo punto).

È chiaro allora che il modo ordinario di usare il linguaggio, che tende a trattare ogni verità come un frammento separato di natura essenzialmente fissa e statica, è ben poco adatto a discutere problemi di verità e falsità. È perciò interessante sperimentare usando il rheomodo, per vedere come esso possa permetterci di discutere il problema della verità in maniera più appropriata e coerente.

Partiremo dalla considerazione dell'aggettivo 'vero' e introdurremo la radice verbale 'verare'. Questa parola richia-

ma l'attenzione nel modo discusso nel paragrafo precedente su un atto spontaneo e non delimitato di visione della verità in qualsiasi forma, comprendente l'atto di vedere se questa percezione combacia o meno con quello che si percepisce effettivamente accadere, così come il vedere la verità della funzione di richiamo dell'attenzione della parola stessa. Perciò 'verare' significa essere nell'atto di percepire la verità, e insieme fare attenzione a cosa la verità significhi.

'Ri-verare' significa allora richiamare di nuovo l'attenzione, tramite il pensiero e il linguaggio, su una particolare verità in un determinato contesto. Se vediamo che ciò combacia con ciò che può essere osservato in questo contesto, diciamo che *ri-verare è ri-verante*; se vediamo che non combacia, diciamo che *ri-verare è irri-verante* (una particolare verità cessa di essere valida quando viene estesa a un contesto che va al di là dei suoi limiti appropriati).

In questo modo il problema della verità non viene più trattato in termini di frammenti separati ed essenzialmente statici. La nostra attenzione viene invece richiamata sull'atto generale della 'verazione' e sulla sua applicazione in un contesto particolare come *ri-verazione* o *irri-verazione*. (L'irriverazione, cioè il persistente aggrappamento a una verità al di là dei suoi corretti limiti, è stata evidentemente una delle grandi cause di illusione ed errore nel corso della storia ed in ogni aspetto della vita.)

La verazione va vista come un movimento fluido, che si fonde e compenetra con la levazione, la vidazione, la dividazione, l'ordinazione e, in verità, con tutti gli altri movimenti che saranno indicati nel successivo sviluppo del rheomodo.

Ora, quando discutiamo la verità nel modo ordinario, siamo inevitabilmente indotti a considerare che cosa significhi *il fatto*. In un certo senso dire che 'questo è un fatto' implica che il contenuto dell'affermazione a cui ci si riferisce sia vero. Ma, alla radice, la parola 'fatto' deriva dal verbo 'fare' e significa perciò 'qualcosa che è stato fatto'. Questo significato è rilevante qui, perché è evidente che in un certo senso noi effettivamente 'facciamo' il fatto, in quanto il fatto dipende non solo dal contesto osservato e dalla nostra percezione immediata, ma anche dal modo in cui le nostre percezioni sono modellate dai nostri pensieri, così

come da ciò che facciamo per mettere alla prova le nostre conclusioni e per applicarle nelle attività pratiche.

Passiamo ora a sperimentare per mezzo del rheomodo, per vedere dove ci porta considerare il significato del 'fatto'. Introduciamo perciò la radice verbale 'fattare', che indica una spontanea e non delimitata attenzione a un'attività umana consciamente diretta a *fare qualsiasi genere di cosa* (il che include, naturalmente, il 'fare' che corrisponde alla funzione di richiamare l'attenzione della parola stessa)[3]. 'Ri-fattare' è allora richiamare nuovamente l'attenzione, tramite il pensiero e il linguaggio, su una tale attività di 'fare' in un contesto particolare. Se vediamo che questa attività è conforme al contesto (cioè che ciò che facciamo 'funziona'), diciamo che 'ri-fattare è ri-fattante', altrimenti che 'ri-fattare è irri-fattante'.

Chiaramente molto di quello che ordinariamente si intende parlando di verità o falsità di un'affermazione è contenuto nelle implicazioni delle parole 'ri-fattante' e 'irri-fattante'. È evidente che quando dei concetti veri vengono applicati alla pratica essi ci portano in generale a fare qualcosa che 'funziona', mentre dei concetti falsi ci portano a fare cose che 'non funzionano'.

Naturalmente qui dobbiamo stare attenti a non identificare la verità semplicemente con 'ciò che funziona'; perché, come abbiamo visto, essa è un intero movimento che va molto al di là della sfera limitata delle nostre attività funzionali consciamente dirette. Perciò, benché l'affermazione 'la ri-verazione è ri-fattante' sia corretta nel proprio ambito, è importante tenere in mente che essa richiama l'attenzione solo su un aspetto di quel che intendiamo con verità. In effetti essa non copre nemmeno tutto il significato della parola 'fatto'. Stabilire un fatto comporta molto di più della semplice osservazione che la nostra conoscenza è ri-fattante, cioè che ci ha in generale portato a raggiungere gli scopi che ci prefiggevamo con il pensiero. Oltre a questo, il fatto va continuamente *verificato* attraverso ulteriori osservazioni ed esperienze. Lo scopo primario di questa verifica non è quello di ottenere qualche risultato o fine desiderato, bensì quello di vedere se il fatto 'regge' anche a una ripetuta osservazione del contesto a cui si riferisce, eseguita essenzialmente nello stesso modo di prima o in modi nuovi

rilevanti per lo stesso contesto. Nella scienza questa verifica viene fatta per mezzo di esperimenti, che non solo devono essere riproducibili, ma devono anche combaciare con le 'verifiche incrociate' fornite da altri esperimenti significativi per il contesto in esame. Più in generale tutta l'esperienza ci fornisce sempre delle verifiche di questo genere, se siamo attenti a cogliere ciò che essa in effetti ci indica.

Quando diciamo di qualcosa che 'questo è un fatto', alludiamo implicitamente a una certa capacità del fatto di 'reggere' a un'ampia varietà di verifiche. Quando diciamo perciò che un fatto è *stabilito*, intendiamo dire che esso si è dimostrato *stabile*, nel senso che non tende a cadere o a venire annullato in qualsiasi momento da una successiva osservazione dello stesso tipo generale già eseguita in passato. Naturalmente questa stabilità è solo relativa, perché il fatto viene continuamente sottoposto a nuove verifiche, sia nei modi familiari, sia in modi nuovi che vengono continuamente esplorati. Perciò esso può venire raffinato, modificato e perfino radicalmente cambiato da nuovi esperimenti e da nuove osservazioni ed esperienze. Ma, per essere un 'fatto reale', deve evidentemente restare *costantemente* valido, per lo meno in certi contesti e per un certo periodo di tempo.

Come base per discutere questo aspetto del fatto nel rheomodo, notiamo che la parola 'costante' deriva dalla radice latina *constare*, dove *stare* significa 'stare ritto, reggersi in piedi' e *con* significa 'insieme'. Il verbo strettamente affine 'constatare' significa appunto 'stabilire, accertare, confermare'. Perciò possiamo dire che nell'attività di verifica 'constatiamo' il fatto, in modo che sia 'stabilito', che 'si regga insieme' solidamente come un unico corpo che è in grado, in senso relativo, di reggere alla verifica. Il fatto perciò, entro certi limiti, resta *co-stante*.

Derivando dal participio passato di *constare*, il verbo 'constatare' corrisponde anche meglio al significato che stiamo esaminando, in quanto il suo significato radicale corrisponde all'idea di 'essersi retto insieme', che combacia molto bene con il 'fatto' nel senso di 'ciò che è stato fatto'.

Per esaminare questi problemi nel rheomodo introduciamo perciò la radice verbale 'con-statare'. Essa significa 'fare spontaneamente e non delimitatamente attenzione al modo in cui un'azione o un movimento di qualsiasi genere è

stabilito in una forma relativamente costante che si regge insieme con relativa stabilità, compresa l'azione di stabilire un corpo di fatti che si regge insieme in questo modo e anche l'azione esplicata dalla parola stessa che contribuisce a stabilire il fatto della funzione del linguaggio'.

'Ri-constatare' significa allora richiamare di nuovo l'attenzione con la parola e con il pensiero su una particolare azione o su un particolare movimento di questo tipo in un dato contesto. Se vediamo che tale azione o movimento combacia con il contesto in questione, diciamo che 'ri-constatare è ri-constatante', mentre se sembra non combaciare diciamo che 'ri-constatare è irri-constatante' (per esempio, il fatto che era stato in precedenza stabilito non 'regge' a un'ulteriore osservazione ed esperienza).

La forma sostantivale 'ri-constatazione' significa allora un tipo particolare di *stato* continuativo di azione o movimento che 'si regge insieme' in maniera relativamente costante in un dato contesto, sia esso la nostra attività mirante a stabilire un fatto o un qualsiasi altro tipo di movimento descrivibile come stabilito o di forma stabile. Essa si riferisce perciò in primo luogo alla possibilità di confermare ripetutamente, in una serie di atti di osservazione o sperimentazione, che 'il fatto continua a sussistere'; oppure si riferisce a un certo stato continuativo di movimento (o di cose) che 'persiste' in una realtà complessiva che include e trascende i nostri atti di osservazione e di sperimentazione. Infine, può riferirsi all'attività verbale di fare un'affermazione (in inglese *statement*, cioè *state*-ment) tramite la quale ciò che una persona ri-constata può venire comunicato per essere ri-constatato da altri. Vale a dire che una ri-constatazione è, nell'uso ordinario del linguaggio, 'un fatto stabilito', o 'l'effettivo stato di movimento o di cose a cui il fatto si riferisce', o 'la formulazione verbale del fatto'. Perciò non tracciamo una divisione netta fra l'atto di percezione e sperimentazione, l'azione di ciò che percepiamo o sperimentiamo e l'attività di comunicare verbalmente ciò che abbiamo osservato e fatto. Tutti questi vengono considerati lati o aspetti, strettamente legati fra loro per funzione e contenuto, di un unico movimento indiviso. (Non cadiamo così nella tendenza frammentaria a dividere le nostre attività mentali 'interne' dalla loro funzione 'esterna'.)

Evidentemente quest'uso del rheomodo combacia molto bene con la visione del mondo che analogamente considera le cose relativamente statiche come astrazioni di aspetti relativamente invarianti di un movimento complessivo unitario ed indiviso. Ma va anche oltre, implicando che il fatto relativo a tali cose è esso stesso un'astrazione corrispondente a quell'aspetto relativamente costante del movimento complessivo che appare nella percezione e viene sperimentato nell'azione, che 'sta insieme' in uno stato continuativo e che può perciò essere comunicato sotto forma di affermazione (*statement*).

5. Implicazioni del rheomodo per la nostra visione complessiva del mondo

Non permettendoci di discutere il fatto osservato in termini di cose separatamente esistenti di natura essenzialmente statica, l'uso del rheomodo comporta certe conseguenze che influiscono sulla nostra visione generale del mondo. Come abbiamo già in una certa misura indicato, ogni forma linguistica porta in sé un certo tipo di visione del mondo dominante o prevalente, che tende a funzionare nel nostro pensiero e nella nostra percezione ogni volta che ce ne serviamo. Perciò esprimere chiaramente una visione del mondo contraria a quella implicita nella struttura primaria di un linguaggio è solitamente molto difficile. È pertanto necessario, nello studio di ogni forma linguistica generale, dedicare una seria e sostenuta attenzione alla sua visione del mondo implicita, sia dal punto di vista del contenuto sia da quello della funzione.

Come abbiamo già detto, uno dei difetti principali del modo ordinario di usare il linguaggio è proprio la sua assunzione implicita di non limitare in alcun modo la nostra visione del mondo. Esso dà l'impressione che i problemi di visione del mondo riguardino solo la 'filosofia personale' di ciascuno, anziché il contenuto e la funzione del linguaggio ed il modo in cui tendiamo a fare esperienza della realtà complessiva in cui viviamo. Facendoci credere così che la nostra visione del mondo sia una faccenda relativamente poco importante, che forse è soprattutto una questione

di gusti e di scelte personali, il modo ordinario di usare il linguaggio ci nasconde l'effettiva funzione della visione del mondo frammentaria che lo pervade. Come abbiamo visto, il funzionamento automatico e abituale del pensiero e del linguaggio proietta allora all'esterno queste divisioni come se esse fossero delle effettive fratture nella natura di 'ciò che è'. È perciò essenziale essere consapevoli della visione del mondo implicita in ogni forma linguistica e stare attenti a cogliere il momento in cui, varcando certi limiti, questa visione del mondo cessa di combaciare con l'effettiva osservazione ed esperienza.

Le cose dette in questo capitolo mostrano che la visione del mondo implicita nel rheomodo è essenzialmente quella descritta nel primo capitolo, secondo la quale tutto è un movimento unitario indiviso e senza fratture, da cui ciascuna 'cosa' viene astratta solo come un aspetto relativamente invariante del movimento. È chiaro perciò che il rheomodo implica una visione del mondo molto diversa da quella della struttura del linguaggio usuale. Più specificamente, ci accorgiamo che il semplice atto di prendere seriamente in considerazione questa nuova modalità linguistica e di osservarne il funzionamento ci aiuta a portare l'attenzione al modo in cui la struttura del linguaggio ordinario esercita su di noi forti e sottili pressioni per indurci a restare aggrappati a una visione del mondo frammentaria. Se sia utile spingerci oltre e cercare di introdurre il rheomodo nell'uso attivo non è possibile attualmente dire; ma può darsi che a un certo punto uno sviluppo del genere risulti utile.

NOTE

[1] In effetti la radice latina *videre* in 'dividere' non significa 'vedere', ma 'separare'. Sembra che questo sia avvenuto per pura coincidenza. Tuttavia questa coincidenza serve bene i fini del rheomodo, in quanto suggerisce di considerare la divisione primariamente come un atto percettivo, anziché come un atto di separazione fisica.

[2] Quando una parola si ottiene da una certa forma applicando un prefisso, come *di-*, *con-*, eccetera, nella radice verbale del rheomodo il prefisso sarà separato dal verbo principale con un trattino, per indicare che la parola è stata costruita in questo modo.

[3] D'ora in avanti, per brevità, non daremo in genere una descrizione altrettanto completa del significato delle forme radice.

3

La realtà e la conoscenza come processo

1. Introduzione

Il concetto che la realtà vada compresa come processo è antico: esso risale per lo meno a Eraclito, che disse che tutto scorre. In epoca moderna Whitehead fu il primo a dare al concetto uno sviluppo sistematico[1]. In questo capitolo discuterò la relazione fra realtà e conoscenza da questo punto di vista. Tuttavia, benché il mio punto di partenza esplicito sia in generale simile a quello di Whitehead, emergeranno anche implicazioni significativamente diverse da quelle del suo lavoro.

L'essenza del concetto di processo per me è contenuta nell'affermazione: non solo tutto cambia, ma tutto *è* flusso. Vale a dire che *ciò che è* è il processo stesso del divenire, mentre tutti gli oggetti, gli eventi, le entità, le condizioni, le strutture, eccetera, sono soltanto forme che possono venire astratte da questo processo.

L'immagine migliore di un processo è forse quella di un ruscello che scorre, la cui sostanza non è mai la stessa. Nel ruscello possiamo vedere un disegno sempre mutevole di vortici, increspature, onde, spruzzi, eccetera. Tutte queste cose non hanno evidentemente un'esistenza indipendente in quanto tali: esse sono invece astrazioni in seno al movimento fluido del ruscello, che sorgono e svaniscono nel processo complessivo della corrente.

Il transitorio sussistere di queste forme astratte implica solo un'indipendenza o autonomia di comportamento relativa, anziché un'esistenza assolutamente indipendente come sostanze ultime (*vedi* il capitolo 1 per un'ulteriore discussione di questo concetto).

Naturalmente la fisica moderna afferma che un ruscello

è fatto di atomi, i quali a loro volta sono composti da 'particelle elementari' (elettroni, protoni, neutroni, eccetera). A lungo si è pensato che tali particelle fossero la 'sostanza ultima' di tutta la realtà e che ogni movimento, per esempio quello del ruscello, dovesse ridursi a forme astratte dal movimento nello spazio di insiemi di particelle interagenti. Tuttavia, si è trovato che anche le 'particelle elementari' possono essere create, distrutte e trasformate; e ciò indica che neppure loro sono sostanze ultime, bensì sono anch'esse forme relativamente costanti, astratte da un più profondo livello di movimento.

Possiamo immaginare che questo livello di movimento più profondo sia a sua volta analizzabile in particelle ancora più fini, che forse risulteranno essere la sostanza ultima di tutta la realtà.

Ma la concezione secondo cui tutto è flusso, che stiamo qui esaminando, adotta un atteggiamento diverso. Essa considera ogni evento, ogni oggetto, ogni entità descrivibile, come un'astrazione tratta da una sconosciuta e indefinibile totalità di fluido movimento. Questo significa che, per quanto lontano possa spingersi la nostra conoscenza delle leggi della fisica, il loro contenuto continua ad essere costituito da astrazioni, dotate solo di una relativa indipendenza di esistenza e di comportamento. Non supponiamo perciò che tutte le proprietà di insiemi di oggetti, eventi, eccetera, debbano essere spiegabili in termini di certe sostanze ultime conoscibili. A qualunque stadio del processo, possono presentarsi ulteriori proprietà di tali insiemi, il cui fondamento ultimo va identificato nella totalità sconosciuta del flusso universale.

Avendo parlato della natura della realtà in termini dell'idea di processo, vediamo ora che cosa questa idea implica per la natura della conoscenza. Chiaramente, per essere coerenti dovremo dire che anche la conoscenza è un processo, un'astrazione tratta dall'unico flusso totale, il quale è perciò il fondamento sia della realtà sia della conoscenza che abbiamo di questa realtà. È facile formulare a parole questo concetto, ma è molto difficile non cadere nella tendenza quasi universale a trattare la nostra conoscenza come un insieme di verità essenzialmente fisse, che non hanno perciò la natura di un processo. (Per esempio, si può ma-

gari ammettere che la conoscenza umana è sempre mutevole; ma poi si aggiunge che essa è di natura cumulativa, identificando così implicitamente gli elementi che la costituiscono con verità permanenti, che dobbiamo semplicemente scoprire.) In verità, asserire che vi è anche solo un elemento della conoscenza assolutamente invariante (per esempio l'affermazione che «tutto è flusso») significa stabilire nel campo della conoscenza qualcosa di permanente. Ma, se *tutto* è flusso, ogni elemento della conoscenza dev'essere una forma astratta dal processo del divenire, cosicché non possono esserci elementi assolutamente invarianti.

Possiamo liberarci da questa contraddizione, nel senso di capire non solo la realtà, ma anche *tutta* la conoscenza, come avente il suo fondamento nel movimento fluido? Oppure dobbiamo necessariamente considerare *qualche* elemento della conoscenza (per esempio quelli che riguardano la natura del processo) come verità assolute, che trascendono il flusso del processo stesso? È questo il problema che affronteremo in questo capitolo.

2. Pensiero e intelligenza

Per studiare il problema di come la conoscenza vada compresa come processo, partiamo dall'osservazione che tutta la conoscenza viene prodotta, manifestata, comunicata, trasformata e applicata attraverso il *pensiero*. Il pensiero, considerato nel *movimento del suo divenire* (e non solo nel suo contenuto di immagini e idee relativamente ben definite), è in verità il processo in cui la conoscenza ha la sua esistenza effettiva e concreta (questo fatto è stato discusso nell'Introduzione').

Che cos'è il processo del pensiero? Il pensiero è essenzialmente la risposta attiva della memoria in ogni aspetto della vita. Nel pensiero includiamo le risposte intellettuali, emotive, sensoriali, muscolari e fisiche della memoria. Tutte queste cose sono aspetti di un unico indissolubile processo. Trattarle separatamente genera frammentazione e confusione. Sono tutte un processo unitario di risposta della memoria a ogni situazione effettiva; e questa risposta a sua

volta contribuisce alla memoria, condizionando il pensiero successivo.

Una delle forme più antiche e primitive di pensiero è, per esempio, il ricordo di una sensazione di dolore o di piacere congiunta a un'immagine visiva, uditiva o olfattiva evocata da un oggetto o da una situazione. Nella nostra cultura è comune separare i ricordi il cui contenuto è un'immagine da quelli che comportano una sensazione o un'emozione. Ma il *significato complessivo* di un ricordo di questo genere sta proprio nella congiunzione fra immagine e sensazione o emozione corrispondente, che costituisce (insieme con il contenuto intellettuale e la reazione fisica) la totalità del giudizio sulla cosa ricordata come buona o cattiva, desiderabile o meno, eccetera. È chiaro che il pensiero considerato in questo modo come risposta della memoria ha un ordine di funzionamento essenzialmente meccanico. Esso è una ripetizione di una struttura preesistente tratta dalla memoria o è una combinazione e organizzazione di ricordi a formare un'ulteriore struttura di idee, concetti, categorie, eccetera. Queste combinazioni possono avere un certo grado di novità derivante dal fortuito intreccio di elementi della memoria, ma è chiaro che si tratta ancora di una novità essenzialmente meccanica (come le nuove combinazioni che appaiono in un caleidoscopio).

In questo processo meccanico non c'è alcuna ragione intrinseca per cui i pensieri che sorgono debbano essere rilevanti o appropriati alla situazione che li evoca. La percezione del fatto che un certo pensiero sia o meno rilevante e appropriato richiede il funzionamento di un'energia non meccanica, un'energia che chiameremo intelligenza. Quest'ultima è capace di percepire nuovi ordini e nuove strutture, che non sono semplicemente una variante di ciò che è già contenuto nella memoria. Per esempio, da parecchio tempo stiamo lavorando a un problema difficile senza venirne a capo. Improvvisamente, in un lampo di comprensione, vediamo l'irrilevanza di tutto il nostro modo di pensare il problema e ci si presenta un nuovo approccio in cui tutti gli elementi combaciano in un nuovo ordine e una nuova struttura. Chiaramente un lampo di comprensione di questo tipo è essenzialmente un *atto percettivo*, piuttosto che un processo di pensiero (un'idea del genere è stata di-

scussa nel capitolo 1), benché in seguito esso possa essere espresso attraverso il pensiero. È un atto di *percezione mentale* di ordini astratti e relazioni, come identità e differenza, separazione e connessione, necessità e contingenza, causa ed effetto, eccetera.

Abbiamo perciò riunito tutte le risposte fondamentalmente meccaniche e condizionate della memoria sotto un'unica parola o simbolo, il pensiero, che abbiamo distinto dalla risposta fresca, originale e incondizionata dell'intelligenza (o della percezione intelligente), nella quale può sorgere qualcosa di nuovo. A questo punto ci si può chiedere: come facciamo a sapere che una risposta non condizionata del genere è possibile? Questo è un problema vasto, che non possiamo discutere a fondo qui. Possiamo limitarci a suggerire che tutti, almeno implicitamente, accettiamo l'idea che l'intelligenza sia non condizionata (in verità non possiamo coerentemente sostenere una tesi diversa).

Considera, per esempio, un tentativo di affermare che tutte le azioni umane sono condizionate e meccaniche. Tipicamente questo punto di vista assume una di queste due forme: o si dice che l'essere umano è fondamentalmente condizionato dalla sua costituzione ereditaria o si dice che è determinato dai fattori ambientali. Ma alla persona che crede nel condizionamento ereditario possiamo chiedere se la sua affermazione non sia altro che un prodotto della sua eredità. In altre parole, è la sua struttura genetica che lo costringe a esprimere questa convinzione? Analogamente possiamo chiedere a chi crede nella determinazione ambientale se la sua affermazione non sia altro che una conseguenza dei fattori ambientali che hanno agito su di lui. Evidentemente in entrambi i casi (così come nel caso di una persona che affermasse che l'essere umano è completamente condizionato dall'insieme di eredità *più* ambiente) la risposta dev'essere negativa, altrimenti essi negherebbero la possibilità stessa che ciò che hanno detto abbia un significato. In verità, in ogni affermazione è implicito che colui o colei che parla sia in grado di farlo a partire da una percezione intelligente, che sia capace di una *verità* che non è puramente un prodotto meccanico di condizionamenti acquisiti in passato. Vediamo perciò che nessuno può fare a meno di implicare, nel suo modo di comunicare, che accetta per

lo meno la possibilità di quella percezione libera e non condizionata che abbiamo chiamato intelligenza.

Vi sono numerose indicazioni che il pensiero sia essenzialmente un processo materiale. Per esempio, si è osservato in molti contesti diversi che il pensiero è inseparabile dall'attività elettrica e chimica che ha luogo nel cervello e nel sistema nervoso e da concomitanti movimenti e tensioni muscolari. Possiamo dire allora che l'intelligenza sia un processo analogo, benché forse di natura più sottile?

Il punto di vista che viene proposto qui implica che non sia così. Se l'intelligenza dev'essere un atto percettivo incondizionato, essa non può avere il suo fondamento in strutture come le cellule, le molecole, gli atomi, le particelle elementari, eccetera. In senso ultimo, tutto ciò che è determinato dalle leggi di queste strutture deve appartenere al campo del conoscibile, cioè di ciò che può essere immagazzinato nella memoria, e perciò deve avere la natura meccanica di tutto ciò che può essere assimilato nel processo essenzialmente meccanico del pensiero. L'effettivo funzionamento dell'intelligenza trascende tutto ciò che può essere determinato o condizionato da una legge conoscibile. Il fondamento dell'intelligenza deve trovarsi perciò nel flusso indeterminato e sconosciuto che è anche il fondamento di tutte le forme definibili della materia. L'intelligenza non è così deducibile o spiegabile mediante i concetti di un particolare ramo della conoscenza (per esempio, della fisica o della biologia). La sua origine è più profonda e più interna di ogni ordine conoscibile che potremmo invocare per descriverla. (In verità essa deve abbracciare quello stesso ordine delle forme definibili della materia per mezzo del quale vorremmo comprenderla.)

Qual è allora il rapporto fra intelligenza e pensiero? In breve possiamo dire che, quando il pensiero funziona da sé, esso è meccanico e non intelligente, perché impone il proprio ordine generalmente irrilevante e inappropriato tratto dalla memoria. Il pensiero è tuttavia capace di rispondere non solo alla memoria, ma anche alla percezione incondizionata dell'intelligenza, che è in grado di distinguere in ciascun caso se una certa linea di pensiero è rilevante e appropriata o meno.

Può essere utile qui considerare l'immagine di un appa-

recchio radioricevente. Se l'*output* (il suono emesso dall'apparecchio) retroagisce sull'*input* (il segnale raccolto dall'apparecchio), il ricevitore funziona da sé e produce solo un rumore irrilevante e privo di significato. Ma quando l'apparecchio risponde al segnale portato dall'onda radio, il suo ordine interno di correnti elettriche (che si trasforma in onda sonora) diviene parallelo all'ordine del segnale e il ricevitore traduce allora in movimenti che operano all'interno della sua struttura un ordine significativo, che ha origine a un livello al di là di quello della sua struttura. Possiamo analogamente suggerire che, nella percezione intelligente, il cervello e il sistema nervoso rispondono direttamente a un ordine del flusso universale e sconosciuto che non è riducibile ad alcunché di definibile in termini di strutture conoscibili.

L'intelligenza e il processo materiale hanno perciò un'unica origine, che in senso ultimo è la totalità sconosciuta del flusso universale. In un certo senso questo implica che quelle che vengono comunemente dette mente e materia sono entrambe astrazioni in seno al flusso universale ed entrambe vanno considerate come ordini diversi e relativamente autonomi all'interno dell'unico movimento complessivo (questo concetto viene discusso ulteriormente nel capitolo 7). È la risposta del pensiero alla percezione intelligente che ha la capacità di produrre un'armonia o corrispondenza complessiva fra mente e materia.

3. La cosa e il pensiero

Dato che il pensiero è un processo materiale che può essere rilevante in un contesto più generale quando si muove parallelamente alla percezione intelligente, siamo ora indotti a chiederci quale sia la relazione fra pensiero e realtà. Si crede comunemente che il contenuto del pensiero stia in un qualche tipo di corrispondenza riflessiva con le 'cose reali': che ne sia una specie di copia, o immagine, o imitazione, o 'mappa', oppure che ne colga la forma essenziale e più interna (in un senso simile a quello suggerito da Platone).

Qualcuna di queste opinioni è corretta? O non è forse il

problema stesso che deve essere elucidato ulteriormente? Perché esso presuppone che sappiamo che cosa significhi la 'cosa reale' e la distinzione fra realtà e pensiero. Ma questo è appunto ciò che non è ben compreso. (Per esempio, anche il concetto kantiano relativamente sofisticato di 'cosa in sé' è altrettanto oscuro dell'idea ingenua di 'cosa reale'.)

Forse possiamo trovare un'indicazione esaminando l'origine di parole come 'cosa' (in inglese *thing*) e 'realtà'. Lo studio delle origini delle parole è una sorta di archeologia dei nostri processi di pensiero, in quanto ci consente di cogliere tracce di antiche forme di pensiero. Come accade nello studio della società umana, le indicazioni fornite dall'archeologia spesso ci aiutano a capire meglio la situazione attuale.

La parola *thing* risale a varie parole dell'inglese antico[2], il cui significato comprende 'oggetto', 'azione', 'evento', 'condizione', 'incontro'; essa è imparentata con parole che significano 'determinare', 'stabilire', e forse anche 'tempo' o 'stagione'. Il significato originario perciò può essere stato 'qualcosa che si verifica in un certo momento o in certe condizioni'. (Possiamo confrontarlo con il tedesco *bedingen*, che significa 'formulare condizioni' o 'determinare' e che potrebbe essere reso in inglese con *to bething*, 'cosare'.) Tutti questi significati suggeriscono che la parola *thing* sia sorta come indicazione di carattere molto generale di una qualsiasi forma di esistenza, transitoria o permanente, limitata o determinata da condizioni.

Qual è allora il significato della parola 'realtà'? 'Realtà' viene dal latino *res*, che significa appunto 'cosa'. Essere reale perciò vuol dire essere una 'cosa'. La 'realtà', nel suo significato più antico, indicherebbe dunque la 'cosità in generale', 'la qualità di essere una cosa'.

È particolarmente interessante il fatto che *res* derivi dal verbo *reri*, che significa 'pensare'. Perciò letteralmente la *res* è 'ciò che è pensato'. È implicito naturalmente che ciò che è pensato abbia un'esistenza indipendente dal processo del pensiero, ovvero che quando creiamo un'idea come immagine mentale attraverso il pensiero non creiamo in questo modo una 'cosa reale'. La 'cosa reale' tuttavia è limitata da condizioni esprimibili per mezzo del pensiero. Naturalmente la cosa reale contiene qualcosa di più di quan-

to implicato dal contenuto del pensiero (come ulteriori osservazioni della cosa possono sempre rivelare). Inoltre il nostro pensiero non è in genere del tutto esatto: perciò ci possiamo aspettare che la cosa reale manifesti anche comportamenti o proprietà in contrasto con alcune delle implicazioni del nostro pensiero. Questi sono, in verità, alcuni dei modi principali in cui la cosa reale manifesta la sua fondamentale indipendenza dal pensiero. L'indicazione più importante del rapporto che lega la cosa al pensiero è allora il fatto che, quando pensiamo correttamente una certa cosa, il pensiero può, almeno fino a un certo punto, guidare le nostre azioni riguardo a quella cosa in modo da produrre una situazione armoniosa e priva di contraddizioni e confusione.

Se la cosa e il pensiero hanno entrambi il loro fondamento nella totalità indefinibile e sconosciuta del flusso, il tentativo di spiegare la loro relazione in termini di corrispondenza riflessiva non ha senso, perché sia il pensiero sia la cosa sono forme astratte dal processo totale. La ragione per cui queste forme stanno fra loro in relazione può solo essere nel terreno da cui entrambe emergono; ma non è possibile in questo terreno parlare di corrispondenza riflessiva, perché la corrispondenza riflessiva implica la conoscenza, mentre la totalità del flusso trascende ciò che può essere assimilato nel contenuto della conoscenza.

Questo significa che non è possibile comprendere ulteriormente il rapporto fra cosa e pensiero? Noi suggeriamo che un'ulteriore comprensione sia di fatto possibile, ma che per arrivarci dobbiamo esaminare la questione da un diverso punto di vista. Questo punto di vista può essere illustrato dall'analogia della ben nota 'danza delle api', con cui un'ape riesce a indicare alle altre la localizzazione dei fiori ricchi di polline. Probabilmente questa danza non va capita nel senso che essa produce nelle 'menti' delle altre api una forma di conoscenza in corrispondenza riflessiva con la collocazione dei fiori. Essa è invece un'attività che, quando è ben eseguita, funge da indicatore che predispone le altre api a un ordine d'azione che in generale le porta a raggiungere il polline. Quest'attività non è separata da tutte le altre attività che fanno parte della raccolta del polline: essa si fonde in maniera fluida con gli altri passi di quello che

è un processo indiviso. Possiamo allora proporre l'idea che l'attività del pensiero sia una specie di 'danza delle api', che funziona indicativamente e che, quando è ben eseguita, fluisce e si fonde in un processo complessivo armonioso e ordinato nella vita nel suo insieme.

Nelle attività pratiche il significato di quest'ordine e di quest'armonia è chiaro (per esempio, il gruppo sociale riuscirà a procurarsi il cibo, l'alloggio, condizioni di vita sane, eccetera). Ma gli esseri umani nutrono anche pensieri che vanno al di là delle immediate necessità pratiche. Per esempio, da tempo immemorabile essi cercano di capire l'origine, l'ordine e la natura di tutte le cose attraverso il pensiero religioso, la filosofia e la scienza. Di questo tipo di pensiero possiamo dire che ha 'la totalità di tutto ciò che è' come suo contenuto (per esempio, esso cerca di comprendere la natura della realtà come un tutto). Questa comprensione della totalità non è una corrispondenza riflessiva fra 'il pensiero' e 'la realtà come un tutto'. Essa va considerata piuttosto come una forma d'arte, simile alla poesia, che ci predispone all'ordine e all'armonia nella 'danza della mente' complessiva (e perciò anche nel funzionamento del cervello e del sistema nervoso). Di questo abbiamo parlato in precedenza, nell''Introduzione'.

Quello che occorre, allora, non è una *spiegazione* che ci dia una qualche conoscenza della relazione fra pensiero e cosa o fra pensiero e 'realtà come un tutto'. Piuttosto, occorre un *atto di comprensione* in cui vediamo la totalità come un effettivo processo che, quando è ben eseguito, tende a generare un'azione complessiva armoniosa e ordinata, che incorpora sia il pensiero sia la cosa pensata in un unico movimento, dove l'analisi in parti separate (per esempio, pensiero e cosa) non ha significato.

4. Pensiero e non-pensiero

Mentre è chiaro perciò che *in senso ultimo* il pensiero e la cosa non possono essere analizzati come separatamente esistenti, è chiaro anche che nell'esperienza umana immediata una qualche separazione di questo genere va fatta, almeno provvisoriamente e come punto di partenza. Infatti la

distinzione fra ciò che è reale e ciò che è soltanto pensiero e quindi immaginario o illusorio è necessaria non solo per la riuscita delle attività pratiche, ma a lungo andare anche per la nostra salute mentale.

È utile qui considerare come può essere sorta questa distinzione. È noto che spesso per un bambino piccolo è difficile distinguere il contenuto dei suoi pensieri dalla realtà[3] (per esempio può immaginare che tale contenuto sia visibile ad altri come lo è a lui, oppure aver paura di quelli che per gli altri sono 'pericoli immaginari'). Perciò, pur avendo iniziato il processo del pensiero in maniera ingenua (cioè senza rendersi conto di pensare), a un certo stadio il bambino diviene cosciente del processo del pensiero rendendosi conto che alcune delle 'cose' che gli sembra di vedere sono in effetti 'solo pensieri', e quindi 'non cose' o 'nulla', mentre altre sono 'reali' (cioè 'qualcosa').

I primitivi devono essersi trovati in una situazione simile. Man mano che essi ampliavano la sfera del loro pensiero tecnico pratico, le loro immagini mentali devono essere diventate più intense e più frequenti. Per trovare un equilibrio e un'armonia nell'insieme della loro vita, essi devono aver sentito il bisogno di sviluppare il loro pensiero riguardo alla totalità in modo analogo. In quest'ultimo tipo di pensiero è particolarmente facile che la distinzione fra pensiero e cosa diventi confusa. Perciò, quando gli esseri umani cominciarono a pensare alle forze della natura e agli dei e quando gli artisti cominciarono a creare immagini realistiche di animali e di dei che si ritenevano dotati di un potere magico o trascendente, si generò un tipo di pensiero privo di un chiaro riferimento fisico, così intenso, continuo e 'realistico' da rendere difficile mantenere una chiara distinzione fra immagine mentale e realtà. Col tempo queste esperienze devono aver fatto nascere nei nostri antenati un profondo bisogno di chiarire tale distinzione (bisogno che si esprimeva in domande come «chi sono io?», «qual è la mia natura?», «qual è la vera relazione fra esseri umani, natura e dei?», eccetera), perché è a lungo andare intollerabile per gli esseri umani restare permanentemente in uno stato di confusione su cosa è reale e cosa non lo è, giacché questa condizione non solo impedisce di affrontare razionalmente i problemi pratici, ma toglie significato alla vita stessa.

È chiaro allora che a un certo punto gli esseri umani devono avere intrapreso tentativi sistematici per chiarire questa distinzione. A un certo punto devono aver sentito che non bastava distinguere pensieri particolari da cose particolari, bensì era necessario capire la distinzione fra pensiero e cosa in senso universale. Forse a questo punto il primitivo o il bambino ha un lampo di intuizione, in cui vede, probabilmente senza verbalizzarlo, che il *pensiero nel suo insieme* va distinto dall'*insieme di tutto ciò che non è pensiero*. Questa intuizione può essere formulata più succintamente come la distinzione fra pensiero e non-pensiero, ulteriormente abbreviati in P e NP. Il ragionamento implicito in questa distinzione è:

P non è NP (pensiero e non-pensiero sono diversi e mutuamente esclusivi),
tutto è P o NP (pensiero e non-pensiero coprono la totalità di ciò che può esistere).

In un certo senso, il vero pensare comincia con questa distinzione. Prima di essa poteva esservi pensiero, ma non una piena consapevolezza che ciò che stava accadendo era appunto pensiero. Perciò il pensiero vero e proprio comincia così, con il pensiero che prende coscienza di sé distinguendosi dal non-pensiero.

Inoltre, questo passo con cui ha inizio il pensiero vero e proprio è forse anche il primo pensiero che ha come contenuto la totalità. Questo pensiero è profondamente scolpito nella coscienza dell'umanità e si presenta molto presto, come stadio necessario nel tentativo del pensiero di dare ordine e senso alla propria 'danza'.

Questo modo di pensare viene ulteriormente sviluppato e articolato dalla ricerca di caratteristiche o qualità distintive del pensiero e del non-pensiero. Così, il non-pensiero viene in genere identificato con la realtà, nel senso della 'cosità'. Come abbiamo accennato, le cose reali si riconoscono soprattutto grazie alla loro indipendenza da come le pensiamo. Altre caratteristiche delle cose reali sono che esse possono essere palpabili, stabili, resistenti ai tentativi di cambiarle, fonti di attività indipendente nell'insieme della realtà. D'altro canto i pensieri possono essere considerati

come pure 'creazioni mentali': impalpabili, transitori, facili da cambiare, incapaci di generare un'attività indipendente al di fuori di sé, eccetera.

In senso ultimo tuttavia questa distinzione fissa fra pensiero e non-pensiero è insostenibile, perché il pensiero è un'attività reale, che deve avere il suo fondamento in una più ampia totalità di movimento e azione reale, che si sovrappone con il pensiero e lo include.

Come abbiamo visto, il pensiero è un processo materiale il cui contenuto è la risposta complessiva della memoria, che include emozioni, reazioni muscolari e sensazioni fisiche che sgorgano da tale risposta e si fondono in essa. Di fatto, tutte le caratteristiche del nostro ambiente che sono opera umana sono, in questo senso, estensioni del pensiero, in quanto la loro forma e l'ordine del loro movimento hanno origine nel pensiero e sono incorporate nell'ambiente dal lavoro umano, che è guidato da quello stesso pensiero. Viceversa la forma e l'ordine di movimento di ogni cosa presente nell'ambiente, naturale o artificiale, si 'riversa' in noi attraverso la percezione e genera impressioni la cui traccia nella memoria costituisce la base di ulteriore pensiero.

In questo movimento complessivo contenuti che erano originariamente nella memoria passano continuamente nell'ambiente ed entrano a farne parte integrante, mentre contenuti che erano originariamente nell'ambiente passano nella memoria ed entrano a farne parte integrante. Ambiente e memoria perciò partecipano a un unico processo totale, dove l'analisi in parti separate (per esempio pensiero e cosa) non ha significato. Questo processo, in cui il pensiero (cioè la risposta della memoria) e l'ambiente sono indissolubilmente legati, ha evidentemente la natura di un *ciclo*, simbolicamente illustrato nella figura 3.1 (benché naturalmente sarebbe più esatto rappresentare il ciclo come una spirale che si allarga).

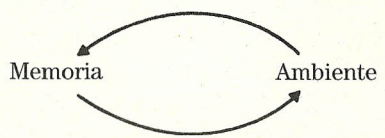

Figura 3.1

Questo movimento ciclico (o a spirale), in cui il pensiero ha la sua esistenza effettiva e concreta, comprende la comunicazione di pensieri fra le persone (che fanno parte dell'ambiente le une per le altre) e si estende indefinitamente nel passato. Perciò in nessun punto possiamo dire che il *processo complessivo* del pensiero comincia o finisce. Esso va invece visto come un'unica totalità indivisa di movimento, che non appartiene ad alcuna persona particolare, ad alcun luogo, tempo o gruppo di persone. Considerando la natura fisica della risposta della memoria in termini di reazioni nervose, sensazioni, emozioni, movimenti muscolari, eccetera, e considerando la fusione di tale risposta con l'ambiente nel processo ciclico illustrato sopra, arriviamo alla conclusione che il pensiero *è* il non-pensiero (P *è* NP).

Possiamo vedere anche che viceversa il non-pensiero *è* pensiero. 'Realtà' *è in effetti* una parola che ha un certo implicito contenuto di pensiero. Certo, questo si può dire di ogni termine del nostro linguaggio; ma, come abbiamo visto, tali termini indicano in genere cose reali, che possiamo in linea di principio percepire. Non c'è modo, invece, di considerare la realtà come una specie di 'cosa' e di verificare se l'idea che ce ne facciamo combacia o meno con questa 'cosa detta realtà'. Abbiamo già suggerito a questo proposito che il termine 'realtà' indichi una sconosciuta e indefinibile totalità di flusso, che è il fondamento di tutte le cose e del processo del pensiero stesso, oltre che del movimento della percezione intelligente. Ma questo non cambia fondamentalmente il problema, perché se la realtà è sconosciuta e inconoscibile come possiamo essere certi che esista? La risposta è ovviamente che non possiamo esserne certi.

Da ciò non segue tuttavia che 'realtà' sia una parola senza significato, perché, come abbiamo visto, nella sua 'danza del pensiero' la mente può a lungo andare muoversi in maniera ordinata e sensata solo se la 'forma della danza' include una qualche distinzione fra pensiero e non-pensiero (cioè realtà). Ma questa distinzione va fatta in seno a quel processo fluido e costantemente mutevole in cui il pensiero passa nel non-pensiero e il non-pensiero passa nel pensiero, onde non si può considerare come fissa. Questa distinzione fluida richiede evidentemente la libertà di movi-

mento della percezione intelligente, che sa distinguere in ciascuna situazione quale contenuto abbia la sua origine nel pensiero e quale in una realtà indipendente dal pensiero.

È chiaro allora che il termine 'realtà' (che in questo contesto significa 'realtà nel suo insieme') non va propriamente considerato parte del contenuto del pensiero. O, in altri termini, possiamo dire che *la realtà non è alcuna cosa* e che è anche *la totalità di tutte le cose* (vale a dire che non dobbimo identificare 'realtà' con 'tutte le cose'). Poiché la parola 'cosa' significa una forma di esistenza condizionata, questo vuol dire che 'la realtà nel suo insieme' non va considerata condizionata. (Non potrebbe in effetti essere coerentemente considerata così, perché il termine stesso 'realtà nel suo insieme' implica che essa contenga tutti i fattori che potrebbero condizionarla e da cui potrebbe dipendere.) Perciò ogni concetto basato su una distinzione fissa e permanente fra pensiero e realtà deve necessariamente venire a cadere quando viene applicato alla totalità.

La forma originaria della distinzione fra pensiero e realtà (cioè non-pensiero) era:

P non è NP
tutto è P o NP

Questa forma è caratteristica di quella che viene chiamata logica aristotelica (benché sia probabilmente vecchia quanto il pensiero vero e proprio ed Aristotele sia solo la prima persona di cui siamo a conoscenza che l'ha enunciata in modo chiaro e conciso). Possiamo considerare questa logica come la logica appropriata alle cose. Una forma di pensiero conforme a questa logica può tuttavia applicarsi alla cosa corrispondente solo a certe condizioni, che sono quelle richieste perché la cosa sia quello che è. Cioè un insieme di forme di pensiero conforme alle regole della logica aristotelica costituisce una guida adeguata nelle attività che hanno a che fare con le cose solo in un certo ambito limitato, al di fuori del quale le cose cambiano o si comportano in modi nuovi e richiedono perciò altre forme di pensiero.

Quando passiamo a considerare la 'totalità di tutto ciò che è', tuttavia, il nostro interesse primario non è più rivolto alle cose condizionate, ma alla totalità incondizionata che

è il fondamento ultimo di tutto. Qui le regole enunciate da Aristotele vengono a cadere, nel senso che non esiste più neppure un campo limitato o un insieme di condizioni in cui si applichino. Oltre alle regole aristoteliche, qui dobbiamo asserire che:

P *è* NP
NP *è* P

Tutto è *sia* P *sia* NP (cioè le due cose si fondono e fluiscono l'una nell'altra, in un singolo processo indiviso in cui sono in senso ultimo una cosa sola).

Tutto non è *né* P *né* NP (cioè il fondamento ultimo è sconosciuto e perciò non specificabile né come P né come NP, né in alcun altro modo).

Se combiniamo quanto sopra con le affermazioni originarie 'P non è NP' e 'tutto è P o NP' e supponiamo che 'P' e 'NP' siano nomi di *cose*, ci imbattiamo in un'assoluta contraddizione. L'insieme di queste considerazioni viene perciò qui preso come indicazione del fatto che 'P' e 'NP' non sono nomi di cose. Essi sono invece, come suggerito in precedenza, termini del discorso la cui funzione è predisporre la mente a un atto di percezione intelligente, capace di distinguere in ciascun caso il contenuto che ha origine nel pensiero (cioè nella risposta della memoria) e quello che ha origine in una qualche 'realtà' indipendente dal pensiero. Poiché la realtà indipendente dal pensiero è in senso ultimo sconosciuta e inconoscibile, questa distinzione non può evidentemente consistere nell'attribuire una particolare caratteristica del contenuto a una particolare categoria fissa, P o NP. Piuttosto, se c'è una consapevolezza della *totalità* costantemente mutevole di ciò che ha origine nel pensiero (cioè nella risposta della memoria, che è il campo del conosciuto), implicitamente ciò che *non* appartiene a questa totalità può essere considerato come di origine indipendente dal pensiero.

Chiaramente è estremamente importante che nulla di ciò che ha origine nella risposta della memoria sfugga o sia escluso dalla consapevolezza. Vale a dire che lo 'sbaglio' primario in questo campo non è quello *positivo* di assegnare

erroneamente ciò che ha origine nel pensiero a una realtà indipendente dal pensiero. È invece l'errore *negativo* di non essere consapevole del fatto che un certo movimento ha la sua origine nel pensiero, e quindi trattare implicitamente quel movimento come avente origine nel non-pensiero. In questo modo quello che è in effetti il processo unitario del pensiero viene tacitamente trattato come diviso in due parti (senza che la persona che lo fa se ne renda conto). Questa inconscia frammentazione del processo del pensiero non può che comportare una distorsione in ogni aspetto della percezione.

Perché, quando siamo indotti ad attribuire in questo modo alle risposte della memoria una realtà indipendente, si genera un ulteriore *feedback* che produce ulteriori pensieri irrilevanti su questa presunta 'realtà indipendente'. Tali pensieri costituiscono ulteriori risposte inappropriate della memoria, che contribuiscono a loro volta alla 'realtà indipendente', in un ciclo che si autoalimenta e che è in genere molto difficile da rompere. Questo genere di *feedback* (a cui abbiamo accennato nell'esempio in cui il pensiero veniva paragonato a un apparecchio radioricevente) tende a lungo andare a confondere tutto quanto il funzionamento della mente.

5. Il campo della conoscenza come processo

Nell'esperienza ordinaria, in cui abbiamo a che fare con cose percettibili dai sensi, la percezione intelligente riesce di solito prima o poi a distinguere chiaramente la totalità degli aspetti dell'esperienza che hanno la loro origine nel pensiero (e per implicazione la totalità di quelli la cui origine è indipendente dal pensiero). Ma, come abbiamo visto, nel pensiero che ricerca la totalità come suo contenuto tale chiarezza è molto più difficile, da un lato perché l'intensità e la continuità di questo pensiero generano una forte impressione di realtà, dall'altro perché non ci sono 'cose' percettibili dai sensi con cui metterlo alla prova. È perciò molto facile, per effetto di un'insufficiente attenzione al nostro processo di pensiero, 'scivolare' in una forma di risposta condizionata della memoria, senza renderci conto che

abbiamo ancora a che fare soltanto con una forma del pensiero che mira a fornire una visione della 'intera realtà'. Cadiamo così nella trappola di considerare questa visione come dotata di un'origine indipendente dal pensiero e di assumere implicitamente che il suo contenuto sia *effettivamente* l'intera realtà.

A partire da questo punto in tutto il campo che ci è accessibile non c'è più posto per alcun cambiamento nell'ordine complessivo della nostra concezione della totalità, che sembra abbracciare tutto ciò che è possibile o anche solo pensabile. Questo significa che la nostra conoscenza della 'intera realtà' viene necessariamente considerata come dotata di una forma fissa e finale, che si ritiene rifletta e riveli la forma fissa e finale di ciò che la totalità della realtà effettivamente è. Questo atteggiamento impedisce evidentemente il libero movimento della mente necessario a una percezione chiara e contribuisce perciò a una generale distorsione e confusione che si estende a tutti gli aspetti dell'esperienza.

Come abbiamo già detto, il pensiero che ha come contenuto la totalità va considerato una forma d'arte analoga alla poesia, la cui funzione primaria è dare origine a nuove percezioni e alle azioni a esse corrispondenti, anziché comunicare una conoscenza riflessiva di 'com'è il tutto'. Questo implica che una forma finale di tale pensiero è tanto impossibile quanto è impossibile una poesia finale (che renda ogni ulteriore poesia innecessaria).

Ogni particolare forma di pensiero relativo alla totalità implica in effetti un modo di considerare tutto il nostro contatto con la realtà e perciò ha implicazioni per il modo in cui agiamo in questo contatto. Ma ogni visione cosiffatta è limitata, nel senso che può produrre ordine e armonia solo fino a un certo punto, al di là del quale cessa di essere rilevante e appropriata. (Confronta questa idea con quella di 'verità in funzione' proposta nel capitolo 2.) In senso ultimo, l'effettivo movimento del pensiero che dà corpo a qualsiasi particolare concezione della totalità va visto come un processo, con forme e contenuti costantemente mutevoli. Se questo processo si sviluppa correttamente, se facciamo attenzione e restiamo consapevoli del pensiero nel suo effettivo fluido divenire, non cadiamo nell'abitudine di trat-

tare implicitamente il suo contenuto come una realtà finale ed essenzialmente statica indipendente dal pensiero stesso.

Anche questa affermazione sulla natura del pensiero è essa stessa solo una forma nel processo complessivo del divenire, una forma che indica un certo ordine del movimento della mente e un certo atteggiamento necessario perché la mente si muova armoniosamente. Essa non ha perciò nulla di finale, né possiamo prevedere dove ci porterà. Evidentemente dobbiamo restare aperti a ulteriori cambiamenti fondamentali nell'ordine del nostro pensiero, man mano che procediamo nel processo. Questi cambiamenti devono avvenire attraverso atti d'intuizione freschi e creativi, necessari all'ordinato movimento del pensiero. L'idea che suggeriamo in questo capitolo è perciò che solo una visione della conoscenza come parte integrante del flusso complessivo del processo (e non una visione statica e frammentaria che la separa dal resto della realtà) può portare a un approccio generalmente più armonioso e ordinato verso la vita nel suo insieme.

È importante in questo contesto sottolineare che identificare permanentemente una certa visione della totalità come appartenente a Whitehead, o a qualcun altro, contraddice una considerazione *coerente* della conoscenza come parte di un processo complessivo. In realtà chiunque riprende le idee di Whitehead se ne serve come punto di partenza per un ulteriore processo del *divenire della conoscenza* (potremmo forse dire che lavora più a valle nel 'fiume della conoscenza'). In questo processo alcuni aspetti possono cambiare lentamente, altri più rapidamente; ma il punto cruciale è che il processo non contiene alcun aspetto definibile che sia *assolutamente* fisso. Occorre naturalmente una percezione intelligente per distinguere momento per momento quali aspetti debbano cambiare lentamente e quali debbano cambiare rapidamente, mentre lavoriamo in quella 'forma d'arte' che è la creazione di idee riguardo alla 'totalità di ciò che è'.

Dobbiamo stare molto attenti qui, perché tendiamo naturalmente a fissare il contenuto essenziale del nostro discorso in un particolare concetto o in una particolare immagine e a parlarne come se fosse una 'cosa' separata dal

nostro pensiero. Ci sfugge allora il fatto che questa 'cosa' è diventata ormai solo un'immagine, una forma nel processo complessivo del pensiero, cioè una risposta della memoria, residuo di una percezione mentale passata (di qualcun altro o nostra). Restiamo così di nuovo intrappolati, in modo molto sottile, in un movimento in cui trattiamo qualcosa che ha la sua origine nel pensiero come se fosse una realtà indipendente da esso.

Possiamo evitare di cadere in questa trappola se siamo continuamente consapevoli del fatto che l'effettiva realtà della conoscenza è un processo vivente che accade *ora* (per esempio, in questa stanza). In questo effettivo processo non stiamo solo parlando del movimento della conoscenza, come se lo guardassimo dall'esterno. Stiamo effettivamente prendendo parte a questo movimento, consapevoli del fatto che questo è ciò che sta accadendo. Vale a dire che il processo è una genuina realtà per tutti noi, una realtà che possiamo osservare e a cui possiamo dare la nostra attenzione.

La domanda cruciale è allora: «Possiamo essere consapevoli della realtà costantemente mutevole e fluida di questo effettivo processo della conoscenza?» Se riusciremo a pensare partendo da questa consapevolezza, non saremo indotti a interpretare erroneamente ciò che ha origine nel pensiero come qualcosa che ha origine in una realtà indipendente dal pensiero. Così l'arte del pensiero che ha la totalità come suo contenuto si svilupperà senza incorrere nella confusione intrinseca a quelle forme di pensiero che cercano di definire una volte per tutte che cosa sia 'l'intera realtà' (e che pertanto ci portano a scambiare il loro contenuto per l'ordine complessivo di una totalità della realtà ritenuta indipendente dal pensiero).

NOTE

[1] A.N. Whitehead *Process and Reality*, Macmillan, New York, 1933.

[2] H.C. Wyld *The Universal Dictionary of the English Language*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1960.

[3] J. Piaget *The Origin of Intelligence in the Child*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1953.

4

I parametri nascosti nella teoria quantistica

Fino a qualche anno fa si riteneva che il problema dell'esistenza o meno di parametri nascosti sottostanti alla teoria quantistica fosse stato da tempo definitivamente risolto in senso negativo. Di conseguenza, la maggior parte dei fisici moderni non lo considerava più un problema rilevante. Ma in questi ultimi anni un certo numero di ricercatori, fra cui l'autore, hanno sviluppato un nuovo approccio che riapre il problema dei parametri nascosti[1]. Qui mi propongo di riesaminare brevemente i risultati principali ottenuti finora in questo approccio e di indicare alcune attuali linee generali di sviluppo delle teorie a parametri nascosti.

In questo capitolo esamineremo varie ragioni per ritenere che le teorie a parametri nascosti offrano buone prospettive per affrontare problemi nuovi, particolarmente quelli relativi al campo delle distanze molto piccole (dell'ordine di 10^{-13} cm o meno) e delle energie molto alte (dell'ordine di 10^9 ev o più). Infine, risponderemo alle obiezioni principali sollevate nei confronti dei parametri nascosti: cioè le difficoltà relative alle relazioni di indeterminazione di Heisenberg, alla quantizzazione dell'azione, al paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky e gli argomenti di von Neumann contro la possibilità di tali parametri.

1. Caratteristiche principali della teoria quantistica

Per capire come si sia sviluppata la teoria dei parametri nascosti è prima di tutto necessario conoscere le caratteristiche principali della teoria quantistica. Benché vi siano varie formulazioni alternative della teoria (dovute a Heisenberg, Schrödinger, Dirac, von Neumann e Bohr) che com-

portano interpretazioni leggermente diverse[2], esse condividono tutte i seguenti postulati base.

1. Le leggi fondamentali della teoria quantistica si esprimono per mezzo di una *funzione d'onda* (in generale multidimensionale) che soddisfa un'equazione lineare (cosicché le soluzioni sono linearmente sovrapponibili).
2. Tutti i risultati fisici si calcolano per mezzo di certe 'osservabili', rappresentate da operatori hermitiani che agiscono linearmente sulla funzione d'onda.
3. Una particolare osservabile ha un valore ben definito solo quando la funzione d'onda è un'autofunzione dell'operatore corrispondente.
4. Quando la funzione d'onda non è un'autofunzione di un certo operatore, il risultato di una misura dell'osservabile corrispondente non è a priori determinato. Una serie di misure eseguite su un *ensemble* di sistemi rappresentati dalla stessa funzione d'onda fornisce risultati che oscillano a caso fra i vari valori possibili.
5. Se la funzione d'onda è data da

$$\psi = \sum_n C_n \psi_n$$

dove ψ_n è l'autofunzione dell'operatore in questione corrispondente all'ennesimo autovalore, la probabilità di ottenere l'ennesimo autovalore in un insieme di misure di quella osservabile è data da $P_n = | C_n |^2$.

6. Siccome molti operatori corrispondenti a variabili che vengono definite simultaneamente in meccanica classica non commutano fra loro (per esempio gli operatori p e x, corrispondenti alla quantità di moto e alla posizione di una particella), nessuna funzione d'onda è simultaneamente autofunzione di tutti gli operatori fisicamente significativi. Questo implica che non tutte le osservabili fisicamente significative possono assumere simultaneamente un valore ben definito; e, cosa ancora più importante, quelle che non hanno un valore ben definito forniscono risultati che fluttuano senza legge (a caso) in una serie di misure eseguite su un *ensemble* di sistemi rappresentati dalla stessa funzione d'onda.

2. Limiti al determinismo imposti dalla teoria quantistica

Le caratteristiche descritte nel paragrafo precedente mostrano che secondo la meccanica quantistica il risultato di un *singolo* processo di misura è determinato solo entro certi limiti. Questa limitazione si applica a ogni misura che dipenda in maniera apprezzabile dalle proprietà quantistiche della materia. Per esempio, in un insieme di nuclei radioattivi il decadimento di ciascun nucleo può venire rilevato *individualmente* dallo scatto di un contatore Geiger. Ma studiando la meccanica quantistica del problema troviamo che l'operatore corrispondente all'osservazione di un prodotto del decadimento radioattivo non commuta con l'operatore che ha come autofunzioni gli stati del nucleo non disintegrato. Perciò, se abbiamo un insieme di nuclei non disintegrati, tutti rappresentati dalla stessa funzione d'onda, ogni singolo nucleo decade in un momento imprevedibile. Il tempo di decadimento varia casualmente da un nucleo all'altro e solo la frazione media di nuclei che decade in un certo intervallo di tempo è prevedibile in base alla funzione d'onda. Confrontando queste previsioni con l'esperienza, troviamo che effettivamente vi è una distribuzione casuale di scatti del contatore Geiger e che la loro distribuzione statistica corrisponde alle leggi probabilistiche della teoria quantistica.

3. Interpretazione dell'indeterminazione quantistica

Il fatto che la teoria quantistica corrisponda all'esperienza in un campo molto vasto (di cui il problema del decadimento radioattivo visto nel paragrafo precedente è solo un esempio tipico) indica che l'indeterminazione quantistica riflette in qualche modo il comportamento reale della materia nel mondo atomico e subatomico. Ma sorge qui il problema di come interpretare questa indeterminazione.

Per chiarire il significato di questa domanda è utile esaminare altre forme di indeterminazione. Per esempio, le assicurazioni si servono di leggi statistiche per prevedere con buona approssimazione il numero medio di persone in una

certa classe di età, peso, statura, eccetera, che moriranno di una certa malattia entro un certo numero di anni. Non sono in grado, beninteso, di prevedere il momento della morte di un singolo assicurato: le morti dei singoli sono distribuite casualmente in un modo che non presenta alcuna relazione con i dati raccolti dalle compagnie di assicurazione. Il fatto che valgano queste distribuzioni statistiche non significa tuttavia che non ci siano dei fattori che determinano esattamente il momento della morte di ciascun singolo individuo.

Per esempio, una persona attraversa la strada in un certo momento e viene investita da un'automobile, oppure è esposta a una malattia contagiosa in un momento in cui il suo organismo è debole, eccetera. Quando lo stesso risultato (la morte della persona) può essere prodotto da un gran numero di cause essenzialmente indipendenti, considerando un insieme numeroso di casi si ottiene una distribuzione statistica. Ma nel contesto della medicina, per esempio, l'esistenza di statistiche di mortalità non esime il medico dalla ricerca di leggi più dettagliate, agenti a livello individuale (per esempio, dei fattori che hanno causato la morte di una data persona).

Analogamente, quando i fisici scoprirono che le spore in un liquido e le particelle di fumo nell'aria presentano un certo tipo di moto casuale che obbedisce a leggi statistiche (moto browniano), essi immaginarono subito che a un livello più profondo questo moto fosse dovuto a numerosissime collisioni microscopiche rette da leggi individuali ben definite. Il comportamento statistico del moto browniano era compatibile con l'esistenza di leggi individuali a un livello più profondo perché, come nel caso delle assicurazioni, il moto di una singola particella era determinato da un numero molto grande di eventi (collisioni) essenzialmente indipendenti. O, per formulare la questione in termini più generali: *l'indeterminazione del comportamento individuale nel contesto di una legge statistica è in generale compatibile con l'esistenza di leggi individuali più dettagliate che si applicano in un contesto più ampio.*

Alla luce della discussione precedente sembra evidente che, per lo meno di primo acchito, dovremmo essere liberi di supporre che il risultato di un singolo processo di misura

quantistico sia determinato da una moltitudine di fattori sottostanti che esulano dal contesto della teoria quantistica. Matematicamente questi fattori sarebbero allora rappresentati da un insieme di variabili, o parametri, che descrivono lo stato di nuove entità, esistenti a un livello più profondo, subquantico e governate da un tipo qualitativamente nuovo di leggi individuali. Tali entità e le leggi che le governano costituirebbero un nuovo aspetto della natura, un aspetto per ora 'nascosto'. D'altro canto, anche gli atomi, dapprima postulati per spiegare il moto browniano e le regolarità della materia su larga scala, erano inizialmente 'nascosti' nello stesso senso: solo in un secondo tempo essi furono rivelati da esperimenti di nuovo tipo, sensibili alle loro proprietà individuali (contatori Geiger, camere a nebbia, eccetera).

Analogamente, possiamo supporre che le variabili che descrivono le entità subquantiche saranno rivelate in dettaglio solo quando disporremo di un nuovo tipo di esperimenti, tanto diversi dagli esperimenti quantistici quanto questi ultimi lo sono da quelli classici, che mettono in luce le proprietà macroscopiche della materia (misure di temperatura, pressione, eccetera).

A questo punto occorre dire che invece, come è ben noto, la maggior parte dei fisici teorici moderni[3] rifiuta ogni ipotesi di questo tipo. Essi ritengono che le leggi statistiche della teoria quantistica siano incompatibili con l'esistenza di leggi individuali a un livello più profondo. In altre parole, essi ammettono che alcuni tipi di leggi statistiche siano compatibili con l'esistenza di leggi individuali operanti in un contesto più ampio, ma ritengono che la meccanica quantistica non possa essere considerata una legge statistica di questo tipo. La natura statistica della teoria quantistica viene perciò interpretata come espressione di un'indeterminazione irriducibile dei *singoli* fenomeni nell'ambito quantistico. Tutte le leggi individuali esistenti (per esempio quelle della meccanica classica) vengono perciò ritenute casi limite delle leggi probabilistiche della teoria quantistica, approssimativamente validi per sistemi composti da un gran numero di molecole.

4. Argomenti a favore dell'interpretazione dell'indeterminazione quantistica come irriducibile assenza di legge

Prenderemo ora in considerazione i principali argomenti su cui si basa la conclusione che l'indeterminazione quantistica sia una sorta di irriducibile assenza di legge.

4.1 Il principio di indeterminazione di Heisenberg

Cominciamo con una discussione del principio di indeterminazione di Heisenberg. Heisenberg ha mostrato che, anche se le variabili fisicamente significative avessero valori esattamente definiti (conformemente ai requisiti della meccanica classica), non potremmo mai misurarle tutte simultaneamente, perché l'interazione fra l'apparecchio di misura e il sistema osservato comporta sempre lo scambio di uno o più quanti indivisibili, fluttuanti in modo incontrollabile. Per esempio, se cerchiamo di misurare una coordinata di posizione, x, di una particella e la quantità di moto ad essa associata, p, la particella viene perturbata dal processo di misura in modo tale che la massima precisione ottenibile simultaneamente per le due osservabili è espressa dalla famosa relazione $\Delta p \Delta x \geqslant h$. Di conseguenza anche se vi fossero leggi più profonde, subquantiche, che determinano il comportamento di una singola particella, non disporremmo di alcun tipo di osservazione concepibile per verificare la loro esistenza. Secondo questa tesi, il concetto dell'esistenza di un livello subquantico sarebbe un concetto 'metafisico', cioè vuoto di contenuto osservabile. Heisenberg sostenne che dobbiamo cercare di formulare le leggi fisiche riducendo al minimo l'introduzione di concetti di questo tipo, perché essi complicano la teoria in maniera irrilevante senza aggiungere nulla alle previsioni fisiche che essa fornisce.

4.2 Gli argomenti di von Neumann contro i parametri nascosti

La successiva obiezione contro i parametri nascosti, quella di von Neumann, verrà qui presentata in forma semplificata.

Dai postulati 4, 5 e 6 del primo paragrafo di questo capi-

tolo segue che nessuna funzione d'onda può descrivere uno stato in cui *tutte* le quantità fisicamente significative sono 'libere da dispersione' (cioè dotate di un valore ben definito, senza fluttuazioni statistiche). Se una certa variabile, per esempio p, ha un valore ben definito, la variabile coniugata, x, deve fluttuare su un ampio campo di valori. Supponiamo ora che, quando il sistema è in tale stato, ci siano dei parametri nascosti a un livello più profondo che determinano esattamente il valore di x in ciascun caso. Naturalmente, in un *ensemble* statistico di misure di x incontreremo ancora le fluttuazioni previste dalla teoria quantistica. Ma questa volta ciascun caso che dà un certo valore di x corrisponde a un certo insieme di valori dei parametri nascosti, cosicché l'*ensemble* di sistemi descritti dalla stessa funzione d'onda su cui vengono effettuate le misure consiste in realtà di una collezione di sottoinsiemi distinti ben definiti, corrispondenti a valori determinati dei parametri nascosti.

Von Neumann ha sostenuto che l'esistenza di tali sottoinsiemi distinti e ben definiti sia incompatibile con certe caratteristiche essenziali della teoria quantistica, e precisamente con quelle associate ai fenomeni di *interferenza* fra parti della funzione d'onda che corrispondono a diversi valori di x. Per mettere in evidenza tale interferenza possiamo misurare, invece di x, una terza osservabile, sensibile alla forma della funzione d'onda su un'intera regione spaziale (in corrispondenza, cioè, a diversi valori di x). Per esempio, possiamo far passare le particelle attraverso un reticolo e misurare la figura di diffrazione che ne risulta. (Von Neumann[4] prende in considerazione un'osservabile che corrisponde alla somma di due o più operatori non commutanti. Un esperimento di diffrazione realizza fisicamente proprio un'osservabile di questo tipo, perché il risultato corrisponde a una complessa combinazione degli operatori posizione e momento della particella.)

In un esperimento cosiffatto si ottiene una figura d'interferenza statistica anche se si fanno passare le particelle attraverso l'apparecchio ad intervalli tanto grandi che essenzialmente ciascuna particella vi entra separatamente e indipendentemente da ogni altra. Se l'*ensemble* di particelle consistesse di sottoinsiemi distinti, corrispondenti a valori

ben definiti dei parametri nascosti e di conseguenza a valori ben definiti della coordinata x del punto in cui la particella raggiunge il reticolo, il comportamento statistico di ciascun sottoinsieme sarebbe quello di uno stato localizzato nel punto x. Un singolo sottoinsieme non potrebbe allora dare luogo a una figura di interferenza (che deriva dalla somma dei contributi di vari punti del reticolo). Poiché le particelle entrano nell'apparecchio separatamente e indipendentemente, l'interferenza non può essere dovuta neppure all'interazione di sottoinsiemi corrispondenti a diversi valori della posizione. L'esistenza di proprietà di interferenza della materia, previste dalla teoria quantistica e verificate sperimentalmente, dimostra perciò, secondo la tesi di von Neumann, l'impossibilità dei parametri nascosti.

Von Neumann ha generalizzato e raffinato questa dimostrazione, ma il risultato essenziale è quello descritto. Egli concluse perciò che nulla, neppure gli ipotetici parametri nascosti, può determinare in anticipo i risultati di un singolo processo di misura in maniera più dettagliata di quanto consentito dalla teoria quantistica.

4.3 Il paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky

Il terzo argomento importante contro l'esistenza di parametri nascosti è strettamente connesso con l'analisi del paradosso proposto da Einstein, Rosen e Podolsky[5]. Il paradosso fu concepito per dimostrare l'erroneità del punto di vista, un tempo abbastanza diffuso, che il principio di indeterminazione di Heisenberg non esprimesse altro che l'esistenza di una certa perturbazione minima, imprevedibile e incontrollabile, in ogni processo di misura. Einstein, Rosen e Podolsky suggerirono un esperimento ipotetico che mette in luce l'insostenibilità di questa interpretazione del principio di indeterminazione.

Quella che segue è una descrizione semplificata dell'esperimento[6]. Consideriamo una molecola con spin, o momento angolare intrinseco, totale nullo, composta da due atomi di spin $\hbar/2$. Disintegriamo la molecola con un procedimento che non influisca sullo spin degli atomi componenti. Lo spin totale resta allora nullo anche quando gli atomi si separano e cessano di interagire fra loro in misura apprezzabile.

Ora, se misuriamo una componente del vettore di spin di uno dei due atomi (diciamo l'atomo A), grazie al fatto che lo spin totale è nullo possiamo immediatamente concludere che la componente corrispondente dello spin dell'altro atomo (atomo B) ha esattamente il valore opposto. Perciò, misurando una componente dello spin di A otteniamo il valore della stessa componente dello spin di B *senza interagire con l'atomo B in alcun modo.*

Se questo fosse un sistema classico non sorgerebbe alcuna difficoltà di interpretazione, perché ciascuna componente dello spin di ciascun atomo avrebbe un valore ben definito che resterebbe sempre esattamente l'opposto del valore della stessa componente dello spin dell'altro atomo. I due spin sono fra loro correlati e una misura dello spin di A fornisce anche lo spin di B.

Ma nella teoria quantistica c'è in più il fatto che in un dato istante solo una componente del vettore di spin può avere un valore ben definito, mentre le altre due sono soggette a fluttuazioni statistiche. Tali fluttuazioni potrebbero essere dovute alla perturbazione apportata dal processo di misura nel caso dell'atomo A, che è stato direttamente osservato. Ma come è sostenibile la stessa interpretazione nel caso dell'atomo B, che non ha interagito né con l'atomo A né con l'apparecchio di misura? Come fa B a 'sapere' quale delle componenti del suo spin deve avere un valore ben definito e quali devono fluttuare casualmente? Il problema si complica ulteriormente se consideriamo il fatto che possiamo riorientare l'apparecchio di misura arbitrariamente e misurare lo spin di A in un'altra direzione mentre gli atomi sono ancora in volo. In qualche modo questo cambiamento di programma si trasmette *istantaneamente* all'atomo B, che si comporta di conseguenza. Ciò sembra contraddire uno dei principi fondamentali della teoria della relatività, che afferma che nessuna influenza fisica può propagarsi a velocità superiore a quella della luce.

L'esperimento descritto non solo dimostra l'insostenibilità dell'idea che il principio di indeterminazione rappresenti solo la perturbazione apportata dal processo di misura; esso ci mette anche di fronte a certe difficoltà reali se vogliamo interpretare il comportamento quantistico della materia in termini di parametri nascosti governati da un livello più profondo di leggi individuali. Naturalmente, se i parametri nascosti esistono, possiamo supporre che essi determinino un'interazione 'nascosta' fra i due atomi, o fra l'atomo B e l'apparecchio che misura lo spin dell'atomo A. Sarebbe questa un'interazione supplementare, che si aggiungerebbe a quelle esplicitamente descritte dalla teoria quantistica e spiegherebbe come fa B a 'sapere' quale osservabile dell'atomo A viene misurata. Ma nel caso in cui l'apparecchio viene riorientato mentre gli atomi sono ancora in volo dovremmo assumere che questa interazione si propaghi a velocità superiore a quella della luce. Questo aspetto del problema è evidentemente uno con cui ogni accettabile teoria a parametri nascosti deve fare i conti.

5. La soluzione di Bohr del paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky: l'indivisibilità di tutti i processi materiali

Il paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky fu risolto da Niels Bohr in un modo che lasciava intatta l'interpretazione della teoria quantistica come irriducibile assenza di legge naturale[7]. L'essenza del suo argomento è costituita dall'*indivisibilità* del quanto. Egli sostenne che nell'ambito quantistico il procedimento con cui analizziamo i sistemi classici in parti interagenti viene a cadere. In quest'ambito, quando due sistemi si combinano fra loro a formare un unico sistema anche solo per un periodo di tempo limitato, tale combinazione resta indivisibile.

Quello che viene a cadere qui è la nostra abituale concezione di analizzabilità indefinita di ogni processo in parti distinte, localizzate in regioni separate dello spazio e del tempo. Solo nel caso limite classico, in cui sono in gioco un gran numero di quanti, possiamo trascurare gli effetti di questa indivisibilità: solo in quel caso è corretto applicare i concetti abituali di analizzabilità *dettagliata* di un processo fisico.

Per comprendere questa nuova proprietà quantistica della materia, Bohr propose di partire dal livello classico, che è immediatamente accessibile all'osservazione. I vari eventi che avvengono a questo livello possono essere adeguata-

mente descritti dai nostri concetti abituali, che comprendono la possibilità di analizzare indefinitamente un sistema osservato. Entro un certo grado di approssimazione, gli eventi osservati sono collegati fra loro da un insieme di leggi, le equazioni del moto di Newton, che in linea di principio determinano il corso futuro degli eventi in base alla situazione esistente in un dato momento.

Ora viene il punto cruciale. Per dare alle leggi classiche un reale contenuto osservabile, dobbiamo poter determinare le posizioni e le quantità di moto di tutte le parti del sistema studiato. Per fare ciò dobbiamo collegare il sistema a un apparecchio di misura che fornisca un risultato macroscopico osservabile correlato con lo stato del sistema osservato. Possiamo allora affermare di conoscere lo stato del sistema osservando lo stato macroscopico dell'apparecchio di misura, purché sia possibile, almeno in linea di principio, distinguere i due sistemi connessi e interagenti per mezzo di un'appropriata analisi concettuale. Nell'ambito quantistico, tuttavia, tale analisi cessa di essere praticabile: siamo costretti a considerare quello che prima chiamavamo il 'sistema combinato' come un'unica, indivisibile, complessiva *situazione sperimentale*. Il risultato della situazione sperimentale perciò non ci comunica qualcosa sul sistema ossevato, bensì soltanto qualcosa sulla situazione sperimentale nella sua globalità.

Questa interpretazione del significato di un processo di misura implica direttamente un'interpretazione del significato delle relazioni di indeterminazione di Heisenberg. Una semplice analisi mostra che all'impossibilità teorica di costruire un'autofunzione di due osservabili non commutanti corrisponde esattamente e precisamente l'impossibilità di combinare fra loro due situazioni sperimentali in modo tale da ottenere una misura simultanea di quelle due osservabili. Questo fatto suggerisce che la non commutabilità di operatori sia una rappresentazione matematica dell'incompatibilità di disposizioni sperimentali atte a misurare esattamente le corrispondenti osservabili.

In meccanica classica è essenziale che coppie di variabili fra loro coniugate di questo tipo, come x e p, abbiano simultaneamente un valore ben definito. Ciascuna variabile descrive un aspetto del sistema, che deve essere combinato con l'aspetto complementare per definire univocamente e in maniera non ambigua lo stato del sistema. Ma nell'ambito quantistico, come abbiamo visto, una variabile coniugata può assumere un valore meglio definito solo in una situazione sperimentale in cui l'altra diventa più indefinita. In un certo senso perciò le due variabili si oppongono l'una all'altra. Eppure restano 'complementari', nel senso che ciascuna di esse descrive un aspetto essenziale del sistema che all'altra sfugge. Esse devono ancora essere usate congiuntamente, ma sono definite solo entro i limiti fissati dal principio di indeterminazione di Heisenberg. Di conseguenza, nell'ambito quantistico queste variabili non ci forniscono più una descrizione definita, univoca e non ambigua della materia. Il concetto di una tale descrizione è un'approssimazione adeguata solo nell'ambito classico.

Se il concetto di materia diventa indefinito nell'ambito quantistico, qual è allora il significato della teoria quantistica? Secondo Bohr, essa è una 'generalizzazione' della meccanica classica. Anziché mettere in relazione fra loro dei fenomeni osservabili macroscopici per mezzo delle equazioni del moto di Newton, che sono un insieme di leggi deterministiche indefinitamente analizzabili, essa mette in relazione dei fenomeni osservabili macroscopici per mezzo delle leggi della teoria quantistica, che sono probabilistiche e non permettono un'analisi indefinita dei fenomeni. Le due teorie si servono degli stessi concetti (per esempio posizione e quantità di moto) e i concetti acquistano significato sperimentale esattamente nello stesso modo, cioè facendo riferimento a una specifica disposizione sperimentale che produce degli effetti macroscopici osservabili. La sola differenza fra la teoria quantistica e quella classica sta nelle diverse leggi che collegano fra loro i concetti.

Nell'interpretazione di Bohr, perciò, nulla viene in realtà misurato nell'ambito quantistico. E in verità secondo questo punto di vista non c'è nulla da misurare in tale ambito, perché tutti i concetti non ambigui che si possono usare per descrivere e dar significato ai risultati di un processo di misura appartengono unicamente al mondo classico. Non ha senso perciò parlare di 'perturbazione' dovuta a un processo di misura, perché l'ipotesi stessa che esista un sistema ben definito che viene perturbato dalla misura perde significato.

Il paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky ovviamente non sorge, perché non viene attribuito nessun significato al concetto di una molecola effettivamente esistente, che si disintegra e che viene perturbata dal processo di misura dello spin. Tutte queste idee vanno considerate come pittoresche metafore, utili per descrivere la disposizione sperimentale con cui osserviamo le correlazioni fra certe coppie di eventi classici (per esempio, il fatto che due 'apparecchi di misura dello spin' paralleli fra loro e situati ai due lati opposti della 'molecola che si disintegra' forniscono sempre valori opposti).

Finché ci limitiamo a calcolare le probabilità di coppie di eventi classici in questo modo, non otterremo mai paradossi del tipo descritto. In questi calcoli la funzione d'onda va considerata puramente come un simbolo matematico, che manipolato secondo una certa tecnica permette di calcolare le giuste correlazioni fra eventi classici, ma non ha alcun significato ulteriore.

È chiaro che il punto di vista di Bohr ci porta necessariamente a interpretare l'indeterminazione quantistica come una forma di irriducibile assenza di legge. L'indivisibilità della situazione sperimentale nel suo insieme non lascia spazio all'attribuzione di fattori causali più precisi e dettagliati di quanto permettano le relazioni di indeterminazione di Heisenberg. Questa caratteristica si manifesta nelle irriducibili fluttuazioni casuali di certi fenomeni macroscopici (i risultati di singoli processi di misura quantistici), fluttuazioni che soddisfano le leggi statistiche della teoria quantistica. Il rifiuto dei parametri nascosti da parte di Bohr si basa perciò su una radicale revisione del significato delle teorie fisiche, revisione che a sua volta deriva dal ruolo fondamentale che egli attribuisce all'indivisibilità del quanto.

6. Interpretazione preliminare della teoria quantistica in termini di parametri nascosti

In questo paragrafo tracceremo le linee generali di certe proposte di una nuova interpretazione della teoria quantistica in termini di parametri nascosti. Va detto subito che la forma di queste proposte è solo preliminare. Il loro scopo principale è duplice: primo, esplicitare in termini abbastanza concreti il significato delle nostre risposte alle obiezioni descritte nei paragrafi precedenti; secondo, servire come punto di partenza per uno sviluppo più dettagliato della teoria, che discuteremo nei paragrafi seguenti di questo stesso capitolo.

I primi suggerimenti sistematici per un'interpretazione della teoria quantistica in termini di parametri nascosti sono venuti dall'autore[8]. Inizialmente estensione e completamento di certe idee originariamente proposte da de Broglie[9], questa nuova interpretazione fu in seguito sviluppata congiuntamente dall'autore e da Vigier[10]. Con qualche ulteriore elaborazione, alla fine essa ha assunto una forma i cui punti principali si possono riassumere in questo modo[11]:

1. La funzione d'onda ψ viene intesa come un campo obiettivamente reale e non solo come un simbolo matematico.
2. Supponiamo che vi sia, oltre al campo, anche una particella, rappresentata matematicamente da un insieme di coordinate che hanno sempre un valore ben definito e che variano in modo determinato.
3. Supponiamo che la velocità della particella sia data da

$$\vec{v} = \frac{\nabla S}{m} \tag{1}$$

dove m è la massa della particella e S è una funzione di fase che si ottiene scrivendo la funzione d'onda nella forma $\psi = Re^{iS/\hbar}$, con R e S reali.

4. Supponiamo che sulla particella agisca, oltre al potenziale classico $V(x)$, anche un ulteriore 'potenziale quantistico'

$$U = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\nabla^2 R}{R}. \tag{2}$$

5. Infine, supponiamo che il campo ψ sia in effetti in uno stato di rapida fluttuazione casuale, cosicché i valori di ψ

usati nella teoria quantistica sono una sorta di media su un intervallo di tempo caratteristico τ. (Questo intervallo deve essere lungo rispetto al periodo medio delle fluttuazioni del campo, ma breve rispetto alle durate caratteristiche dei processi quantistici.) Le fluttuazioni del campo ψ possono derivare da un più profondo livello subquantico, un po' come le fluttuazioni nel moto browniano di una gocciolina di liquido derivano dal sottostante livello atomico. Allora, così come le equazioni del moto di Newton determinano il comportamento medio della gocciolina, l'equazione di Schrödinger determina il comportamento medio del campo ψ.

Sulla base di questi postulati è possibile dimostrare un importante teorema. Se il campo ψ fluttua, l'equazione (1) implica che le fluttuazioni vengono comunicate al moto della particella dalle fluttuazioni del potenziale quantistico (2). Perciò la particella non seguirà una traiettoria regolare, bensì una traiettoria simile a quelle dei consueti moti browniani. Su questa traiettoria essa avrà una certa velocità *media*, data dalla media dell'equazione (1) sulle fluttuazioni del campo nell'intervallo di tempo caratteristico τ. Allora, in base a certe assunzioni molto generali e ragionevoli sulle fluttuazioni del campo, descritte in dettaglio altrove[12], si può dimostrare che nel suo moto casuale la particella si troverà nell'elemento di volume dV durante una frazione di tempo pari a

$$p = |\psi|^2 \, dV. \qquad (3)$$

Questa è la consueta espressione quantistica della probabilità di trovare la particella in un dato elemento di volume.

Il campo ψ viene perciò interpretato soprattutto come il fattore che determina il moto della particella attraverso l'equazione (1) e il 'potenziale quantistico' attraverso l'equazione (2). Il fatto che esso rappresenti anche la densità di probabilità secondo la consueta formula quantistica segue allora da certe assunzioni stocastiche sulle sue fluttuazioni.

Si può dimostrare[13] che questa teoria fornisce risultati fisici identici a quelli forniti dalla consueta interpretazione della teoria quantistica, pur essendo basata su ipotesi molto diverse riguardo all'esistenza di un livello più profondo di leggi che determinano i singoli eventi.

Per illustrare le differenze essenziali fra i due punti di vista, possiamo considerare un esperimento di diffrazione, in cui elettroni con quantità di moto ben definita vengono proiettati su un reticolo. Come abbiamo visto, la funzione d'onda ψ associata alle particelle viene diffratta dal reticolo e su uno schermo posto al di là del reticolo un *ensemble* di elettroni fornisce una 'figura di interferenza' statistica.

Il punto di vista quantistico usuale, come descritto nel precedente paragrafo, non ci consente di analizzare questo processo in dettaglio, neppure concettualmente, e non ci consente di considerare il punto di arrivo delle particelle sullo schermo come determinato in anticipo da parametri nascosti. Noi riteniamo invece che il modello concettuale da noi proposto permetta una tale analisi. Nel nostro modello, come abbiamo visto, la particella segue una traiettoria determinata ma fluttuante, fortemente dipendente da un campo ψ obiettivamente reale e caoticamente fluttuante, che soddisfa in media l'equazione di Schrödinger. Attraversando il reticolo questo campo subisce una diffrazione analoga a quanto avviene per altri campi (per esempio per il campo elettromagnetico). Al di là del reticolo esso presenta perciò frange di interferenza che riflettono la struttura del reticolo. Ma il comportamento dettagliato del campo ψ riflette anche la dinamica dei parametri nascosti a livello subquantico, che ne determinano le fluttuazioni intorno al suo valore medio. Perciò il punto di arrivo di ciascuna particella sullo schermo è univocamente determinato in linea di principio da un insieme di fattori: la posizione iniziale della particella, la forma iniziale del suo campo ψ, i cambiamenti sistematici del campo per effetto della diffrazione e le sue fluttuazioni casuali di origine subquantica. In un *ensemble* statistico di particelle con lo stesso campo medio iniziale, si può dimostrare[14] che le fluttuazioni del campo producono esattamente la stessa figura di interferenza prevista dalla consueta interpretazione della teoria quantistica.

A questo punto dobbiamo chiederci come abbiamo potuto ottenere un risultato opposto a quello dimostrato da von Neumann (paragrafo 4.2). La risposta sta in una certa ipotesi indebitamente restrittiva implicita nell'argomento di von Neumann. L'ipotesi è che le particelle che colpiscono

il reticolo in un certo punto x (predeterminato dai parametri nascosti) debbano appartenere a un sottoinsieme che ha le stesse proprietà statistiche di un *ensemble* di particelle la cui posizione è stata effettivamente osservata (e la cui funzione d'onda è perciò una funzione delta della posizione nel punto x). Ora, è ben noto che se si misurasse la posizione in cui ciascuna particella attraversa il reticolo non si otterrebbe alcuna figura di interferenza. (La perturbazione apportata dalla misura causerebbe la ripartizione dell'*ensemble* in sottoinsiemi non interferenti rappresentati da funzioni delta della posizione.) Perciò l'argomentazione di von Neumann contiene implicitamente l'assunzione che *qualsiasi* fattore (per esempio, i parametri nascosti) atto a determinare in anticipo il punto di incidenza x della particella sopprima l'interferenza nello stesso modo in cui essa viene soppressa da un'effettiva misura della posizione.

Nel nostro modello, lo scoglio di tale assunzione implicita viene superato ammettendo fin dall'inizio che la particella abbia altre proprietà oltre a quelle descritte dalle cosiddette 'osservabili' della teoria quantistica. Essa ha una posizione, una quantità di moto, un campo ψ e fluttuazioni subquantiche: tutti questi elementi contribuiscono al comportamento dettagliato della singola particella nel corso del tempo. Perciò il modello permette di descrivere la differenza fra la situazione sperimentale in cui le particelle attraversano il reticolo indisturbate e quella in cui sono perturbate da una misura della posizione. Anche se una data particella attraversa il reticolo nella stessa posizione x, la sua funzione ψ è molto diversa nei due casi. La differenza di comportamento al di là del reticolo (frange di interferenza in un caso e non nell'altro) discende perciò dalla differenza fra i campi ψ nei due casi.

In sintesi, non siamo costretti ad adottare l'ipotesi restrittiva di von Neumann che i sottoinsiemi siano classificabili unicamente in termini dei valori delle 'osservabili' quantistiche. La loro classificazione può invece coinvolgere altre proprietà interne, attualmente 'nascoste', che in seguito influiscono sul comportamento direttamente osservabile del sistema (come nell'esempio discusso).

In modo analogo è possibile studiare come questa nuova interpretazione della teoria quantistica permetta di affrontare altri problemi a cui abbiamo accennato (per esempio, le relazioni di indeterminazione di Heisenberg e il paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky) e questo è stato fatto in maniera abbastanza dettagliata[15]. In questa sede, tuttavia, rimanderemo lo studio di questi problemi a dopo aver introdotto certi sviluppi ulteriori che ci permetteranno di affrontarli in maniera più semplice e chiara.

7. Critica della nostra interpretazione preliminare della teoria quantistica in termini di parametri nascosti

L'interpretazione della teoria quantistica proposta nel precedente paragrafo presta il fianco a un certo numero di serie obiezioni.

Prima di tutto, bisogna ammettere che il concetto di 'potenziale quantistico' proposto non è del tutto soddisfacente. Non solo la forma $U = -(\hbar^2/2m)(\nabla^2 R/R)$ è abbastanza strana e arbitraria, ma anche (a differenza di altri campi, come quello elettromagnetico) non ha alcuna sorgente visibile. Questa critica non intacca la coerenza logica, ma soltanto la plausibilità della teoria. Tuttavia, non potremmo ritenerci soddisfatti di dover accettare un potenziale cosiffatto in una teoria definitiva. Esso va piuttosto considerato tutt'al più come una rappresentazione schematica di una qualche idea fisica più plausibile che speriamo di individuare in seguito, sviluppando ulteriormente la teoria.

In secondo luogo, nel problema a molti corpi dovremmo introdurre un campo multidimensionale $[\psi(x_1, x_2, \ldots, x_n, \ldots, x_N)]$ e un corrispondente potenziale quantistico multidimensionale

$$U = -\frac{\hbar^2}{2m} \sum_{i=1}^{N} \frac{\nabla_i^2 R}{R},$$

dove $\psi = Re^{iS/\hbar}$, come nel caso di una singola particella. La quantità di moto di ciascuna particella è data allora da

$$P_i = \frac{\partial S(x_1 \ldots x_n \ldots x_N)}{\partial x_i} \qquad (4)$$

Tutti questi concetti sono logicamente coerenti, ma bisogna ammettere che sono difficili da interpretare fisicamente. Come il potenziale quantistico, anch'essi vanno intesi tutt'al più come una rappresentazione preliminare e schematica di idee fisicamente più plausibili che andranno sviluppate in seguito.

In terzo luogo, contro questa interpretazione è stata sollevata l'obiezione che i valori precisi del campo fluttuante ψ e delle coordinate della particella non hanno un contenuto fisico reale. La teoria è stata costruita in modo tale che i risultati macroscopici osservabili di qualsiasi processo di misura siano identici a quelli forniti dall'attuale teoria quantistica. In altre parole, i risultati sperimentali non possono fornire alcuna indicazione in merito all'esistenza dei parametri nascosti e la teoria non permette di assegnare loro valori abbastanza definiti da prevedere qualche risultato con precisione superiore a quella dell'attuale teoria quantistica.

Possiamo rispondere a questa obiezione in due modi. Prima di tutto, è bene tener presente che prima di questa proposta era opinione diffusa che nessuna teoria a parametri nascosti, neppure astratta e ipotetica, fosse compatibile con la teoria quantistica. Dimostrare questa incompatibilità era appunto lo scopo precipuo del teorema di von Neumann. Perciò il problema veniva già posto astrattamente in certe formulazioni dell'interpretazione abituale della teoria quantistica. Per dimostrare che era errato escludere l'esistenza di parametri nascosti solo perché non si riusciva a immaginarli, era sufficiente perciò proporre una teoria logicamente coerente, anche se astratta e ipotetica, capace di spiegare i risultati della teoria quantistica in termini di parametri nascosti. L'esistenza anche di una sola teoria di questo genere dimostra che, per quanti altri argomenti si possano proporre contro i parametri nascosti, certo non si può più affermare che essi siano impossibili. È vero, la teoria proposta non è soddisfacente da un punto di vista fisico: ma se una teoria cosiffatta è possibile, possono esistere anche altre teorie migliori. La conseguenza naturale di questa argomentazione è allora: perché non cercare di trovarle?

In secondo luogo, per rispondere pienamente alla critica che queste idee sono puramente ipotetiche, osserviamo che

la struttura logica della teoria ammette la possibilità di cambiamenti che la differenzino dalla attuale teoria quantistica nel suo contenuto sperimentale. Di conseguenza è possibile che gli effetti dei parametri nascosti (per esempio, le fluttuazioni del campo ψ e delle traiettorie delle particelle) si manifestino in nuovi risultati sperimentali, non previsti dall'attuale formulazione della teoria quantistica.

A questo punto ci si potrebbe forse domandare se dei nuovi risultati cosiffatti siano anche solo possibili. Dopotutto, il quadro generale della teoria quantistica già combacia con tutti i risultati sperimentali noti. Possono essercene degli altri? A questo dobbiamo rispondere che, anche se l'attuale trattazione quantistica di tutti gli esperimenti noti fosse pienamente soddisfacente, sono sempre possibili nuovi risultati non compatibili con l'interpretazione della teoria quantistica attuale. Ogni esperimento viene compiuto in un ambito limitato e con una certa approssimazione. Da un punto di vista logico esiste sempre la possibilità che esperimenti eseguiti in nuovi ambiti o con maggiore precisione forniscano risultati in disaccordo con le teorie esistenti.

Lo sviluppo della fisica ha spesso proceduto in questo modo. La meccanica newtoniana, per esempio, ritenuta in origine universalmente valida, si è rivelata a un certo punto valida solo in un ambito limitato (quello delle velocità piccole in confronto alla velocità della luce) e con un certo grado di approssimazione. Essa ha dovuto cedere il posto alla teoria della relatività, che adottava concezioni dello spazio e del tempo sotto molti aspetti incompatibili con quelle preesistenti. La nuova teoria aveva caratteristiche essenziali fondamentalmente diverse dalla vecchia: eppure nell'ambito delle piccole velocità la vecchia teoria veniva ritrovata come caso limite della nuova. Similmente, la meccanica classica è stata a un certo punto sostituita dalla teoria quantistica, nettamente diversa nella sua struttura concettuale, ma che pure la contiene come caso limite, come teoria approssimata valida per i grandi numeri quantici. L'accordo con i risultati sperimentali in ambiti limitati e con un grado di approssimazione limitato non dimostra perciò, evidentemente, la validità universale dei concetti fondamentali di una teoria.

La discussione precedente mostra che, di per sé, i risul-

tati sperimentali non potranno mai escludere la possibilità di una teoria a parametri nascosti che fornisca previsioni diverse da quelle della teoria quantistica in nuovi ambiti (o anche in quelli vecchi, quando gli esperimenti vengano eseguiti con un grado di precisione maggiore). Ma dobbiamo ora chiederci un po' più precisamente quali siano i campi in cui possiamo aspettarci dei nuovi risultati e precisamente in che senso essi potrebbero essere nuovi.

Possiamo sperare di ottenere qualche indicazione da quei problemi per cui le teorie attuali non forniscono in generale risultati soddisfacenti, particolarmente i problemi legati alle altissime energie ed alle brevissime distanze. L'attuale teoria quantistica relativistica dei campi incontra qui serie difficoltà che ne mettono in dubbio la coerenza interna. Le difficoltà sono legate alle divergenze (risultati infiniti) che si ottengono calcolando gli effetti delle interazioni di vari tipi di particelle e campi. È vero che nel caso particolare delle interazioni elettromagnetiche queste divergenze si possono in una certa misura eliminare con le cosiddette tecniche di 'rinormalizzazione'. Ma non è affatto chiaro che queste tecniche possano essere fondate su solide basi logico-matematiche[16]. Inoltre, a parte il problema della giustificazione logica, il metodo della rinormalizzazione non funziona bene, neppure come pura manipolazione tecnica di simboli matematici, quando si passa alle interazioni mesoniche e di altro genere. Non è ancora definitivamente dimostrato che questi risultati infiniti siano una caratteristica intrinseca della teoria, ma ci sono già consistenti indicazioni in questo senso[17].

È opinione generalmente condivisa che, se come sembra verosimile la teoria non converge, occorrerà apportare qualche radicale modifica alla sua trattazione delle interazioni a distanze molto ravvicinate, che è l'ambito in cui sorgono le difficoltà.

La maggior parte dei proponenti dell'interpretazione consueta della meccanica quantistica non nega che possa essere necessario un cambiamento radicale di questo genere nell'attuale teoria. Alcuni di loro, compreso Heisenberg, sono pronti a spingersi fino ad abbandonare completamente i nostri concetti di uno spazio e un tempo ben definiti nella sfera delle distanze piccolissime. Altri prendono in considerazione cambiamenti non meno radicali di altri principi, come quelli della teoria della relatività (introducendo campi nonlocali). Ma sembra esserci una diffusa sensazione che non sarà necessario modificare essenzialmente i principi fondamentali della teoria quantistica. In altre parole, si ritiene che, per quanto radicali potranno essere i cambiamenti nelle teorie fisiche, essi si svilupperanno sulle fondamenta dell'attuale teoria quantistica, magari arricchendone e generalizzandone i principi in un nuovo e più ampio campo di applicazione.

Non sono mai riuscito a trovare ragioni fondate per una tanto profonda fiducia nell'attuale interpretazione della teoria quantistica. Alcuni fisici[18] affermano che la tendenza del nostro secolo è ad allontanarsi dal determinismo e che non è verosimile che si faccia marcia indietro. Ma è sempre facile fare supposizioni del genere a proposito di teorie che hanno avuto successo fino a quel momento. I fisici del diciannovesimo secolo avrebbero potuto sostenere in maniera altrettanto fondata che la tendenza dei tempi fosse verso un *rafforzamento* del determinismo: ma gli eventi successivi dimostrarono il contrario. Altri hanno espresso una preferenza psicologica per le teorie indeterministiche. Ma questo può derivare dall'aver fatto l'abitudine a questo genere di teorie. I fisici classici del secolo scorso avrebbero certamente dichiarato una preferenza psicologica altrettanto forte a favore del determinismo.

Infine, è convinzione diffusa che non sia realmente possibile mettere in pratica il programma di una teoria a parametri nascosti capace di fornire previsioni sperimentali diverse da quelle della teoria quantistica, pur concordando con quest'ultima nell'ambito in cui essa fornisce risultati essenzialmente corretti. Questa è in particolare l'opinione di Niels Bohr, che ha espresso forti dubbi sul fatto che una teoria di questo genere possa includere tutti gli aspetti significativi dell'*indivisibilità* del quanto di azione[19]. Ma, come vedremo nei prossimi paragrafi, questa posizione non è particolarmente solida.

8. Passi verso una più dettagliata teoria a parametri nascosti

Da quanto detto nel paragrafo precedente risulta chiaro che il nostro compito centrale è quello di sviluppare una nuova teoria a parametri nascosti. Essa dovrà differire dalla teoria quantistica attuale sia nei concetti fondamentali sia nel contenuto sperimentale, pur essendo in grado di riprodurne essenzialmente i risultati in quegli ambiti in cui essa è stata finora verificata ed entro il grado di approssimazione con cui gli esperimenti sono stati effettivamente eseguiti. La possibilità di distinguere le due teorie risulterà allora da esperimenti in nuovi campi (per esempio quello delle distanze molto brevi) o da una più precisa esecuzione degli esperimenti nei vecchi campi.

Cominceremo cercando di costruire una teoria fisica più concreta che porti a idee simili a quelle discusse in rapporto alla teoria preliminare proposta nel paragrafo 6. In quella teoria l'indeterminazione appariva come una proprietà reale e obiettiva della materia, ma solo in un certo contesto limitato, quello associato alle variabili del livello quantistico. A un livello più profondo, subquantico, abbiamo supposto che vi siano ulteriori parametri capaci di determinare più precisamente le fluttuazioni dei risultati di singole misure di grandezze quantistiche.

Possiamo trarre dalla teoria esistente qualche suggerimento sulla natura di questi parametri subquantici? Per cominciare, possiamo lasciarci guidare dalla forma più sviluppata dell'attuale teoria quantistica, cioè la teoria relativistica dei campi. Secondo i principi di tale teoria, è essenziale che ogni operatore di campo ϕ_μ sia una funzione del punto x esattamente definito e che tutte le interazioni coinvolgano operatori di campo nello stesso punto. La teoria viene perciò formulata in termini di un'infinità non numerabile di variabili di campo.

Naturalmente anche una teoria di campo classica comporta un'infinità non numerabile di variabili di campo. Ma, a differenza di quanto accade nel caso quantistico, nel caso classico possiamo supporre che i campi varino con continuità. Di conseguenza, dato che le variazioni su brevi distanze sono piccole, possiamo ridurre il numero delle variabili di campo a un'infinità numerabile considerando i loro valori medi su volumetti elementari. La stessa approssimazione non è invece possibile nella teoria quantistica, perché, come un semplice calcolo mostra, più brevi sono le distanze considerate più grandi sono le fluttuazioni quantistiche associate all'energia di 'punto zero' del vuoto. Queste fluttuazioni sono tanto grandi da impedire a rigore di considerare gli operatori di campo funzioni continue della posizione (e del tempo).

Nella teoria quantistica attuale il problema di un'infinità non numerabile di variabili di campo dà luogo a varie fondamentali difficoltà matematiche, finora irrisolte. È perciò consuetudine affrontare i calcoli della teoria di campo introducendo certe ipotesi sullo stato di vuoto e poi applicando la teoria delle perturbazioni. Ma in linea di principio è possibile partire da un'infinita varietà di ipotesi diverse sullo stato di vuoto, assegnando determinati valori a un insieme di funzioni completamente discontinue delle variabili di campo, che 'riempiono' lo spazio densamente pur lasciando un insieme denso di 'buchi'. *Questi stati ridefiniti non sono ottenibili dallo stato di 'vuoto' originario per mezzo di una trasformazione canonica*[20]. Perciò essi portano a teorie che hanno in generale un contenuto fisico diverso da quelle legate allo stato di 'vuoto' originario. Date le divergenze nei risultati della teoria quantistica dei campi, è del tutto possibile che anche le attuali tecniche di rinormalizzazione comportino un'infinita varietà di stati di vuoto. Ma ancora più importante è il fatto che la riorganizzazione di un'infinità non numerabile di variabili porta in genere a una teoria diversa. I principi di una tale riorganizzazione equivalgono perciò ad ipotesi fondamentali sulle corrispondenti leggi naturali.

Questo discorso sulle conseguenze della riorganizzazione di un'infinità non numerabile di variabili nell'ambito dell'attuale teoria quantistica vale anche per una teoria di campo classica che comporti un'infinità non numerabile di variabili. Perciò, se lasciamo cadere l'ipotesi della *continuità* del campo classico, la riorganizzazione delle variabili genera una teoria fisicamente diversa nel caso classico come in quello quantistico.

A questo punto ci chiediamo allora se sia per caso possi-

bile riorganizzare una teoria di campo classica in modo tale da farla diventare equivalente (almeno in un certo ambito e con una certa approssimazione) alla moderna teoria quantistica dei campi. Una tale teoria classica dev'essere in grado di riprodurre, a partire dalla legge 'deterministica' che governa l'infinità non numerabile delle sue variabili di campo, le fluttuazioni dei processi quantistici, l'indivisibilità del quanto e tutte le altre proprietà essenziali della teoria quantistica, come l'interferenza e le correlazioni associate al paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky. Questo è il problema che ci occuperà nei prossimi paragrafi.

9. Trattazione delle fluttuazioni quantistiche

Cominciamo assumendo di disporre di una certa teoria di campo 'deterministica'. La precisa caratterizzazione della teoria non ha importanza ai nostri fini. È sufficiente che essa abbia le seguenti proprietà:

1. Un sistema di equazioni di campo determina completamente l'evoluzione temporale del campo.
2. Queste equazioni sono abbastanza non lineari da comportare un significativo accoppiamento fra tutte le componenti del campo, così che (salvo eventualmente in senso approssimato) le soluzioni non sono linearmente sovrapponibili.
3. Anche nel 'vuoto' il campo è tanto eccitato che il suo valore medio in una regione comunque piccola presenta una specie di moto turbolento con intense fluttuazioni casuali. *Questa eccitazione implica la discontinuità del campo su scala comunque piccola.*
4. Quelle che di solito chiamiamo 'particelle' sono eccitazioni del campo relativamente stabili, sovrapposte a questo stato di vuoto. Esse possono venire perciò registrate dagli apparecchi macroscopici, che sono sensibili solo alle caratteristiche del campo che durano un tempo abbastanza lungo e non a quelle rapidamente fluttuanti. Nello stato di 'vuoto' invece i campi si cancellano in media su tempi macroscopici: perciò lo stato di 'vuoto' non produce effetti macroscopicamente osservabili e appare quindi effettivamente 'vuoto' dal punto di vista dei processi macroscopici. (Similmente un reticolo cristallino perfetto appare 'vuoto' a un elettrone della banda inferiore, malgrado lo spazio sia pieno di atomi.) È chiaro che non è possibile risolvere un tale sistema di equazioni di campo direttamente. La sola possibilità è cercare di calcolare un qualche tipo di *media* (su regioni piccole di spazio e tempo) delle variabili di campo. Possiamo sperare di trovare un certo insieme di tali variabili medie che *determini da sé* la propria evoluzione temporale, almeno in senso approssimato, indipendentemente dalle fluttuazioni infinitamente complesse che avvengono nei volumetti su cui esse sono definite[21]. Nella misura in cui ciò è possibile, otteniamo delle leggi di campo approssimate, valide per un certo ordine di grandezza. Tali leggi non possono essere esatte, perché la non linearità delle equazioni implica che i campi medi siano pur sempre in qualche modo accoppiati con le fluttuazioni che abbiamo trascurato. I campi medi perciò in realtà oscilleranno anch'essi in maniera casuale intorno ai loro valori medi, con un'ampiezza di fluttuazione caratteristica determinata dal moto dettagliato del campo a livello più profondo. Come nel caso del moto browniano di una particella, a queste fluttuazioni corrisponderà una distribuzione di probabilità

$$dp = p(\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_k \ldots)\, d\phi_1\, d\phi_2 \ldots\, d\phi_k \ldots \qquad (5)$$

che dà la frazione media di tempo che le variabili $\phi_1, \phi_2 \ldots, \phi_k \ldots$, che rappresentano rispettivamente i campi medi nelle regioni 1, 2, ..., k, ..., trascorrono negli intervalli $d\phi_1\, d\phi_2 \ldots d\phi_k \ldots$ (Si noti che p è in generale una funzione multidimensionale che include *correlazioni* statistiche fra le variabili di campo.)

Riassumendo, riorganizziamo l'infinità non numerabile di variabili di campo e trattiamo esplicitamente solo un insieme numerabile di coordinate riorganizzate. Facciamo ciò definendo una serie di livelli di scala e considerando i campi medi calcolati su volumetti di quella dimensione. Un approccio del genere si giustifica solo in quei casi in cui l'insieme numerabile di variabili riorganizzate costituisce una totalità che *entro certi limiti* determina il proprio moto indipendentemente dai dettagli dell'infinità non numerabile di variabili che è stata necessariamente trascurata. Tale au-

todeterminazione tuttavia non è mai completa e i limiti entro cui costituisce un'approssimazione accettabile sono definiti da una certa soglia di fluttuazione che dipende dall'accoppiamento delle variabili in questione con quelle che sono state trascurate. Esiste perciò una reale e obiettiva limitazione nel grado di *autodeterminazione* che si applica a un certo livello; ed esiste una densità di probabilità che rappresenta il carattere delle fluttuazioni statistiche responsabili della suddetta limitazione.

10. Il principio di indeterminazione di Heisenberg

Siamo ora pronti a mostrare come il principio di indeterminazione di Heisenberg si inserisca nel nostro schema. Per fare ciò, studieremo il grado di determinazione associato alla media spaziale di una coordinata di campo ϕ_k e alla media corrispondente del momento a essa canonicamente coniugato π_k.

Per semplificare la discussione, supponiamo che il momento coniugato sia proporzionale alla derivata temporale della coordinata di campo, $\partial\phi_k/\partial t$ (come avviene per molti campi, fra cui il campo elettromagnetico e quello mesonico). Poiché le coordinate di campo fluttuano in maniera casuale, la loro derivata temporale istantanea è infinita (come succede anche nel moto browniano di una particella). Perciò non è possibile definire rigorosamente tale derivata istantanea e dobbiamo invece prendere in considerazione la variazione media del campo $\Delta\phi_k$ su un breve intervallo di tempo Δt (così come è stato necessario considerare valori medi su volumetti spaziali). Il valor medio del momento coniugato su questo piccolo intervallo di tempo è allora

$$\overline{\pi_k} = a\left(\frac{\Delta\phi_k}{\Delta t}\right) \tag{6}$$

dove a è la costante di proporzionalità.

Se il campo fluttua in maniera casuale, per definizione

stessa di casualità l'ampiezza media delle sue fluttuazioni durante il tempo Δt è data da

$$\overline{(\delta\phi_k)^2} = b\Delta t \quad \text{o} \quad |\,\delta\phi_k\,| = b^{1/2}(\Delta t)^{1/2} \tag{7}$$

dove b è un'altra costante di proporzionalità, legata all'ampiezza media delle fluttuazioni casuali del campo.

Naturalmente la dinamica precisa delle fluttuazioni del campo è determinata dall'infinità di variabili più profonde che non sono state prese in considerazione. Ma nel contesto del livello in esame il comportamento del campo appare indeterminato: in altre parole, $|\,\delta\phi_k\,|$ rappresenta il massimo grado di precisione con cui ϕ_k è conoscibile al livello di scala considerato.

Per effetto della definizione (6), anche il momento coniugato π_k fluttuerà casualmente su un intervallo

$$\delta\pi_k = \frac{a\,|\,\delta\phi_k\,|}{\Delta t} = \frac{ab^{1/2}}{(\Delta t)^{1/2}} \tag{8}$$

Moltiplicando fra loro le equazioni (7) e (8), otteniamo

$$\delta\pi_k\,\delta\phi_k = ab \tag{9}$$

Perciò il prodotto dell'indeterminazione di π_k e di ϕ_k è una costante ab indipendente dall'intervallo di tempo Δt.

È evidente che questo risultato presenta una forte analogia con il principio di Heisenberg, $\delta p\delta q \gtrsim h$[22]. La costante ab che figura nell'equazione (9) svolge il ruolo della costante di Planck, h, nel principio di Heisenberg. L'universalità di h implica perciò l'universalità di ab.

Ora, a è una costante che lega il momento del campo alla derivata temporale della variabile coniugata ed è perciò evidentemente una costante universale. La costante b rappresenta essenzialmente l'intensità delle fluttuazioni casuali del campo: affermare che essa è una costante universale equivale perciò ad affermare che tale intensità è essenzialmente la stessa in tutti i punti, a ogni istante e per tutte le scale di grandezza.

Rispetto allo spazio e al tempo, l'universalità della costan-

te b non è affatto inverosimile. Le fluttuazioni casuali del campo (che qui hanno un ruolo simile a quello delle fluttuazioni di 'punto zero' del vuoto nella teoria quantistica usuale) sono infinitamente grandi: perciò ogni perturbazione apportata da eccitazioni o concentrazioni di energia localizzate, presenti in natura o prodotte artificialmente in laboratorio, non può che influire in misura trascurabile sulla loro ampiezza. (La presenza di materia macroscopica corrisponde in questo quadro a una concentrazione di energia non fluttuante di qualche grammo per centimetro cubo, sovrapposta alle infinite fluttuazioni di punto zero del campo nel 'vuoto'.)

Non è ovvio tuttavia che la costante b debba avere un valore universale rispetto alle dimensioni degli intervalli spaziali e temporali. È del tutto possibile che b resti costante per medie delle variabili di campo calcolate su intervalli di tempo sempre più brevi fino a un certo ordine di grandezza caratteristico Δt_0 e poi cambi. Questo equivale a dire che il grado di autodeterminazione potrebbe non essere più limitato dalla costante di Planck h per intervalli di tempo (e corrispondenti distanze) molto brevi.

È facile immaginare una teoria con queste caratteristiche. Supponiamo che le fluttuazioni di 'punto zero' del campo siano in un equilibrio statistico di qualche tipo, corrispondente a una temperatura T molto alta. La fluttuazione media corrispondente a ciascun grado di libertà sarà allora, in base al teorema di equipartizione dell'energia, dell'ordine di $\varkappa T$. Ma questa energia media è anche proporzionale alla media di $(\partial\phi/\partial t)^2$ (come avviene, per esempio, in un insieme di oscillatori armonici). Perciò possiamo scrivere

$$\alpha \overline{\left(\frac{\partial\phi}{\partial t}\right)^2} = \varkappa T = \frac{\alpha}{b^2}\,\overline{(\pi)^2} \qquad (10)$$

dove $\varkappa$ è la costante di Boltzmann e α è un'opportuna costante di proporzionalità.

Di conseguenza, al decrescere dell'intervallo di tempo Δt, $(\pi)^2$ non può crescere oltre ogni limite, come implicherebbe l'equazione (8) se b fosse una costante universale. Invece, $(\pi)^2$ deve smettere di crescere quando Δt raggiunge un ordine di grandezza caratteristico Δt_0 individuato da

$$\varkappa T = \frac{\alpha}{b^2}\,\frac{a^2 b}{(\Delta t_0)^2}; \quad \text{cioè} \quad (\Delta t_0)^2 = \frac{\alpha a^2}{b\varkappa T} \qquad (11)$$

Per intervalli di tempo più brevi (e corrispondenti distanze più brevi) il grado di autodeterminazione delle variabili medie del campo non risulta più limitato dalle relazioni di Heisenberg, ma da un insieme di relazioni meno restrittive.

Abbiamo così delineato una teoria che contiene il principio di indeterminazione di Heisenberg come caso limite, approssimativamente valido per un certo ordine di grandezza di spazio e di tempo, mentre i campi medi calcolati su intervalli spaziali e temporali più piccoli presentano un grado di autodeterminazione superiore a quello consentito da tale principio. La nostra teoria è perciò in grado di riprodurre, almeno nella sua essenza, una delle caratteristiche fondamentali della teoria quantistica, il principio di indeterminazione di Heisenberg, pur avendo un contenuto diverso a un livello più profondo.

Discuteremo in seguito il problema di quali esperimenti potrebbero rivelare questo diverso contenuto della teoria. Per ora, ci limitiamo a notare che le divergenze delle attuali teorie quantistiche dei campi sono legate ai contributi all'energia, alla carica, eccetera, delle fluttuazioni quantistiche su intervalli spaziali e temporali infinitamente brevi. Il nostro approccio ci consente di assumere che, benché la fluttuazione totale resti infinita, il contributo di ciascun grado di libertà non cresca indefinitamente al decrescere degli intervalli temporali. Questo può far sì che i calcoli della teoria dei campi diano risultati finiti. È chiaro quindi che le divergenze dell'attuale teoria quantistica dei campi possono derivare dall'estrapolazione dei principi base della teoria ad una scala di distanze spaziali e temporali troppo piccola.

11. L'indivisibilità dei processi quantistici

Il passo successivo consiste nel mostrare come la quantizzazione, cioè l'indivisibilità del quanto d'azione, si inquadri nella nostra concezione di un livello subquantico. Per fare questo, cominciamo a considerare in maggior dettaglio il problema della definizione delle medie necessarie per trattare un'infinità non numerabile di variabili di campo. Ci lasceremo guidare da certi risultati ottenuti nell'analogo problema dei molti corpi (per esempio nello studio dei solidi, liquidi, plasmi, eccetera, in termini dei loro costituenti atomici). Anche nel problema dei molti corpi ci troviamo di fronte a medie di variabili corrispondenti a un livello più profondo (atomico).

L'insieme di tali valori medi si autodetermina con una certa approssimazione, mentre la sua evoluzione dettagliata è soggetta a fluttuazioni casuali con certe ampiezze caratteristiche legate alla dinamica più profonda (atomica), analogamente a quanto è stato suggerito per le variabili di campo nei paragrafi precedenti.

Nel problema dei molti corpi il comportamento del sistema su larga scala viene descritto introducendo delle *coordinate collettive*[23], che sono un insieme approssimativamente autodeterminantesi di funzioni simmetriche delle coordinate delle particelle, che rappresentano certi aspetti globali dei moti (per esempio, delle oscillazioni). La dinamica delle coordinate collettive è determinata (entro i loro campi caratteristici di fluttuazione casuale) da *costanti del moto* approssimate.

Nel caso speciale ma frequente in cui le coordinate collettive descrivono oscillazioni quasi armoniche, le costanti del moto sono le ampiezze e le fasi iniziali delle oscillazioni. Più in generale, esse possono essere funzioni più complesse delle coordinate collettive.

È spesso molto istruttivo passare dalle coordinate delle particelle alle coordinate collettive per mezzo di una trasformazione canonica. In meccanica classica tale trasformazione ha la forma[24]

$$P_k = \frac{\partial S}{\partial q_k}(q_1 \dots q_k \dots; J_1 \dots J_n \dots)$$
$$Q_n = \frac{\partial S}{\partial J_n}(q_1 \dots q_k \dots; J_1 \dots J_n \dots) \qquad (12)$$

dove S è la funzione di trasformazione, p_k e q_k sono i momenti e le coordinate delle particelle e J_n e Q_n sono i momenti e le coordinate dei gradi di libertà collettivi. Qui supponiamo che le J_n siano delle costanti del moto: cioè supponiamo che, almeno nell'ambito in cui vale l'approssimazione delle coordinate collettive, l'hamiltoniana sia funzione solo delle J_n e non delle Q_n. Da ciò consegue che le Q_n crescono linearmente nel tempo, cioè hanno le caratteristiche delle cosiddette 'variabili angolari'[25].

È chiaro che possiamo adottare un simile approccio per il problema di un'infinità non numerabile di variabili di campo accoppiate nonlinearmente. Le q_k e p_k rappresenteranno ora l'insieme originario di variabili di campo canonicamente coniugate; e assumiamo che vi sia una dinamica su larga scala descritta dalle costanti del moto J_n e dalle variabili angolari a esse coniugate Q_n. Se tale dinamica globale esiste, essa si manifesterà abbastanza direttamente in interazioni ad alto livello, perché per ipotesi i suoi moti hanno caratteristiche che durano nel tempo, anziché perdersi nelle fluttuazioni casuali infinitamente rapide del campo, che si cancellano in media alla scala del livello superiore.

Il passo successivo consiste nel mostrare che le costanti del moto (che nel caso degli oscillatori armonici sono proporzionali all'energia dei vari gradi di libertà collettivi del sistema) sono quantizzate, nel senso che esse possono assumere solo i valori $J = nh$, dove n è un numero intero e h è la costante di Planck. Questa dimostrazione sarà nel contempo una spiegazione del dualismo onda-corpuscolo. Infatti i gradi di libertà collettivi sono moti ondulatori con ampiezze armonicamente oscillanti; se queste onde prendono la forma di pacchetti d'onda relativamente localizzati, con energia, quantità di moto e altre proprietà ben definite, esse riproducono al livello di scala superiore tutte le caratteristiche essenziali delle particelle. E nel contempo esse han-

no una natura ondulatoria interna che si manifesta solo in presenza di sistemi che rispondono significativamente a queste caratteristiche più fini.

Per dimostrare la quantizzazione delle costanti del moto sopra enunciata, ritorniamo all'interpretazione preliminare della teoria quantistica in termini di parametri nascosti descritta nei paragrafi 6 e 7. In essa abbiamo incontrato un'equazione, la (4), che qui riscriviamo con la notazione di questo paragrafo:

$$P_k = \frac{\partial S}{\partial q_k}(q_1 \ldots q_k \ldots) \qquad (13)$$

L'equazione (13) è molto simile alla prima delle equazioni (12). La differenza principale sta nel fatto che essa non contiene le costanti del moto J. Ma le costanti del moto, una volta specificate, sono soltanto dei numeri con valori assegnati. Se facciamo questo, esse scompaiono come variabili esplicite anche dalla funzione di trasformazione S delle equazioni (12). Perciò possiamo assumere che la S della nostra interpretazione preliminare non sia altro che la funzione di trasformazione in cui le costanti del moto sono state specificate. S è allora determinata dalla funzione d'onda $\psi = Re^{iS/\hbar}$. Assegnando la funzione d'onda, definiamo una funzione di trasformazione $S = \hbar Im\,(ln\psi)$ che determina implicitamente un insieme di costanti del moto.

Per vedere più chiaramente come le costanti del moto siano determinate dalla funzione S, costruiamo l'*integrale di fase*

$$I_c = \sum_k \oint_c P_k \delta q_k \qquad (14)$$

calcolato lungo un circuito C che rappresenta un insieme di spostamenti infinitesimi (virtuali o reali) δq_k nello spazio delle configurazioni del sistema. Se vale l'equazione (13), otteniamo

$$I_c = \oint \sum_k \frac{\partial S}{\partial q_k}\delta q_k = \delta S_c \qquad (15)$$

dove δS_c è la variazione di S nel percorrere il circuito C.

Gli integrali I_c, che sono le cosiddette 'variabili d'azione' della meccanica classica, sono generalmente le costanti del moto. (Per esempio, in un sistema composto da oscillatori accoppiati, armonici o non, le costanti del moto si ottengono calcolando gli integrali I_c su opportuni circuiti[26].) La funzione d'onda ψ, definendo la funzione S, definisce perciò anche un corrispondente insieme di costanti del moto.

Ora, secondo l'attuale teoria quantistica, la funzione d'onda $\psi = Re^{iS/\hbar}$ è una funzione univoca delle coordinate del sistema q_k. Perciò la sua variazione calcolata su un circuito chiuso dev'essere nulla, il che comporta

$$\delta S_c = 2n\pi\hbar = nh \qquad (16)$$

con n intero.

La funzione di trasformazione S derivata dalla funzione d'onda implica perciò che le costanti del moto fondamentali del sistema siano discrete e quantizzate.

Se l'intero n è diverso da zero, un semplice calcolo mostra che da qualche parte all'interno del circuito dev'esserci una discontinuità. Ma, poiché $S = \hbar Im\,(ln\psi)$ e ψ è una funzione continua, una discontinuità di S può presentarsi solo in corrispondenza di uno zero di ψ e perciò di R^2. Come vedremo fra breve, R^2 è la densità di probabilità che il sistema si trovi in un certo punto dello spazio delle configurazioni. Poiché il sistema ha probabilità nulla di trovarsi in una configurazione in cui ψ si annulla, le singolarità di S non comportano alcuna incoerenza nella teoria.

La quantizzazione sopra descritta assomiglia per molti versi alla vecchia regola di Bohr-Sommerfeld, ma il suo significato è fondamentalmente diverso. Qui la variabile d'azione quantizzata I_c non si ottiene usando la semplice espressione classica dei momenti p_k nell'equazione (14). Essa si ottiene invece usando la prima delle equazioni (12), contenente la funzione di trasformazione S dipendente dall'infinità non numerabile di variabili di campo q_k.

In un certo senso possiamo dire che la regola di Bohr-Sommerfeld varrebbe esattamente se includesse l'infinità non numerabile di tutte le variabili di campo, anziché solo le variabili ottenute risolvendo le equazioni classiche del

moto per un numero ristretto di coordinate astratte Q_n.

Prima di suggerire una spiegazione della quantizzazione di δS_c espressa dall'equazione (16), vogliamo riassumere e sistematizzare le idee fisiche principali a cui siamo stati condotti finora.

1. Dall'infinità non numerabile di variabili di campo abbiamo estratto un insieme di costanti del moto 'collettive' J_n e le relative variabili canonicamente coniugate Q_n.

2. Le J_n possono coerentemente venire ristrette a valori discreti, multipli interi di h. L'azione può perciò venire quantizzata.

3. Se questo insieme di coordinate si autodeterminasse completamente, le Q_n crescerebbero linearmente nel tempo, come avviene nelle tipiche teorie classiche. Tuttavia, per effetto delle variabili non prese in considerazione, le Q_n fluttuano casualmente in un certo campo di valori.

4. Questa fluttuazione genera una certa distribuzione di probabilità per le Q_n con dimensione uguale al numero di gradi di libertà del sistema (e non al suo doppio, come avviene per le tipiche distribuzioni di probabilità *classiche* nello spazio delle fasi). Quando questa funzione di distribuzione viene trasformata nello spazio delle configurazioni delle q_k, si ottiene una corrispondente distribuzione di probabilità $p(q_1 \dots q_k \dots)$ anch'essa con dimensione uguale al numero di gradi di libertà (perché i momenti p_k sono determinati in funzione delle coordinate q_k dalle equazioni 12).

5. Possiamo allora interpretare la funzione d'onda $\psi = Re^{iS/\hbar}$ ponendo $p(q_1 \dots q_k \dots) = R^2(q_1 \dots q_k \dots)$ e identificando S con la funzione di trasformazione che definisce le costanti del moto del sistema. In questo modo diamo alla funzione d'onda un significato piuttosto diverso da quello suggerito nella nostra interpretazione preliminare, benché le due interpretazioni stiano fra loro in un rapporto ben definito.

6. Per effetto della dinamica delle variabili di campo di livello inferiore trascurate, le quantità I_c in generale resteranno costanti solo per periodi di tempo limitati.

Con l'evolversi della funzione d'onda, l'integrale di fase $\sum_k \oint_c P_k \delta q_k = \delta S_c$ cambierà bruscamente ogni volta che uno zero di ψ (e perciò una singolarità di S) attraversa il circuito C. Perciò negli stati non stazionari si avranno cambiamenti discreti nelle variabili d'azione secondo multipli interi di h.

12. Significato fisico della quantizzazione dell'azione

Nel paragrafo precedente abbiamo sviluppato una teoria basata su un'infinità non numerabile di variabili di campo che permette la quantizzazione dell'azione secondo le regole solite della teoria quantistica. Ora proporremo una teoria più definita, che giustifica fisicamente la quantizzazione dell'azione sopra descritta e nel contempo mostra come essa possa anche avere un campo di validità limitato.

Il problema fondamentale è evidentemente quello di proporre un'interpretazione fisica diretta della funzione S che figura nella fase della funzione d'onda $\psi = Re^{iS/\hbar}$ e che, secondo la nostra teoria, è anche la funzione di trasformazione che definisce le costanti del moto fondamentali. Infatti, per spiegare fisicamente la restrizione che la variazione di S lungo un circuito chiuso sia uguale a multipli interi di h dobbiamo evidentemente assumere che S sia legata a qualche proprietà fisica in modo tale che $e^{iS/\hbar}$ debba necessariamente risultare una funzione univoca.

Per dare a S un significato fisico di questo tipo partiremo da certe modifiche di un'idea originariamente suggerita da de Broglie[27]. Supponiamo che l'infinità di variabili di campo accoppiate nonlinearmente sia organizzata in modo tale che, per ogni ordine di grandezza, ciascuna regione spaziotemporale contenga un processo interno periodico. L'esatta natura di questo processo non è importante per la nostra discussione: importa solo che sia un processo periodico (per esempio, un'oscillazione o una rotazione). Questo processo periodico determina una sorta di tempo interno in ciascuna regione spaziale e rappresenta perciò una sorta di 'orologio locale'.

Ora, ogni processo periodico locale ha, per definizione, un riferimento di Lorentz in cui si trova a riposo, almeno per un certo tempo (cioè un sistema di riferimento in cui la sua posizione media non varia significativamente durante questo intervallo di tempo). Supporremo inoltre che in questo sistema di riferimento anche gli orologi vicini corrispon-

denti allo stesso livello di scala si trovino quasi a riposo. Questa assunzione equivale al requisito che, per ciascun livello di scala, la suddivisione di una regione spaziale in volumetti contenenti ciascuno il proprio orologio locale abbia una certa regolarità e permanenza, almeno temporanea. Se allora passiamo dal riferimento di Lorentz locale a un altro sistema di riferimento (per esempio, quello del laboratorio), ogni orologio locale avrà una velocità rappresentata da una funzione continua v(x, t).

È ora abbastanza naturale supporre che: (1) nel proprio riferimento in quiete ciascun orologio abbia una frequenza uniforme, uguale per tutti gli orologi; (2) tutti gli orologi in un certo intorno siano mediamente in fase fra loro. In uno spazio omogeneo ed isotropo, infatti, non c'è ragione per preferire un orologio locale a un altro, né per preferire una direzione spaziale a un'altra (come risulterebbe da un valor medio non nullo del gradiente $\nabla\phi$ della fase degli orologi nel riferimento in quiete locale). Perciò possiamo scrivere per la variazione della fase

$$\delta\phi = \omega_0\delta\tau \tag{17}$$

dove $\delta\tau$ è la variazione del tempo proprio dell'orologio e dove $\delta\phi$ è indipendente da δx in questo sistema di riferimento.

L'uguaglianza delle fasi degli orologi in un intorno locale nel loro riferimento in quiete è comprensibile anche più profondamente come conseguenza naturale dell'accoppiamento nonlineare fra orologi vicini (che deriva dalla nonlinearità delle equazioni del campo). Sappiamo infatti che, in presenza di un tale accoppiamento, due oscillatori con la stessa frequenza naturale tendono a mettersi in fase fra loro[28]. Naturalmente le fasi relative oscilleranno in una certa misura, ma queste oscillazioni tendono a lungo andare a cancellarsi in media.

Esaminiamo ora il problema in un riferimento di Lorentz determinato, per esempio quello del laboratorio, e calcoliamo la variazione di fase $\delta\phi$ (x, t) corrispondente a uno spostamento virtuale (δx, δt). Tale variazione dipende solo da δr. Con una trasformazione di Lorentz otteniamo

$$\delta\phi = \omega_0\delta\tau = \frac{\omega_0[\delta t - (\mathrm{v}\cdot\delta\mathrm{x})/c^2]}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \tag{18}$$

Integrando $\delta\phi$ lungo un circuito chiuso, la variazione totale della fase dev'essere pari a un multiplo intero di $2n\pi$, altrimenti la fase non sarebbe una funzione univoca di x e di t. Otteniamo perciò

$$\oint\delta\phi = \omega_0 \oint \frac{(\delta t - \mathrm{v}\cdot\delta\mathrm{x}/c^2)}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = 2n\pi. \tag{18}$$

Se ora supponiamo che ciascun orologio locale abbia una massa a riposo m_0 e scriviamo l'energia totale di traslazione dell'orologio nella forma $E = m_0c^2/\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$ e la corrispondente quantità di moto nella forma $\mathrm{p} = m_0\mathrm{v}/\sqrt{1 - (v^2/c^2)}$, otteniamo

$$\oint (E\delta t - \mathrm{p}\delta\mathrm{x}) = 2n\pi\frac{m_0}{\omega_0}c^2 \tag{20}$$

Se il rapporto m_0c^2/ω_0 è una costante universale per tutti gli orologi, uguale a $\hbar$, otteniamo precisamente la regola di quantizzazione cercata per le variabili d'azione scritte come integrali di circuito del momento di traslazione e delle coordinate degli orologi. Per esempio, ponendo $\delta t = 0$ l'equazione (20) si riduce a un caso particolare dell'equazione (16).

Vediamo dunque che la quantizzazione dell'azione deriva, almeno in questo caso speciale, da certe condizioni topologiche che derivano dalla necessità che la fase degli orologi sia una funzione univoca.

Questa idea fornisce un punto di partenza per una più profonda comprensione delle condizioni quantiche, ma va arricchita in due modi. In primo luogo, dobbiamo prendere in esame le fluttuazioni del campo associate all'infinità non

numerabile dei gradi di libertà. In secondo luogo, dobbiamo giustificare l'assunzione che il rapporto m_0c^2/ω_0 che figura nell'equazione (20) sia una costante universale uguale ad $\hbar$.

Per cominciare, ricordiamo che gli orologi locali a ciascun livello di scala sono associati a regioni spaziotemporali che possono essere suddivise in regioni sempre più piccole *ad infinitum*. Dimostreremo l'universalità del quanto d'azione h a tutti i livelli assumendo che ogni *sottoregione* contenga a sua volta un orologio locale dello stesso tipo, che sta in un'analoga relazione con gli orologi del suo livello di scala; e che questa struttura 'a orologi' dello spazio-tempo si estenda indefinitamente verso l'infinitamente piccolo. (Questa è soltanto un'assunzione preliminare: in seguito lasceremo cadere l'ipotesi dell'estensione indefinita della struttura a livelli di scala sempre più piccoli.)

Per impostare il problema, introduciamo un'infinità ordinata di coordinate dinamiche x_i^l e di momenti coniugati p_i^l, che rappresentano rispettivamente la posizione media dell'i-esimo orologio all'l-esimo livello di scala e il momento a essa associato. In prima approssimazione, le quantità di ciascun livello di scala possono essere considerate coordinate collettive del livello di scala inferiore: ma questa trattazione non può in generale essere del tutto esatta, perché *in una certa misura ciascun livello risente di tutti gli altri livelli e non solo di quello immediatamente inferiore*. Perciò, benché ciascun livello sia fortemente correlato con il comportamento medio del livello immediatamente inferiore, esso presenta anche un certo grado di indipendenza.

Tutto ciò ci porta a ordinare le variabili di campo in un modo naturale, suggerito dalla natura stessa del problema. In questo ordinamento le quantità x_i^l e p_i^l sopra definite sono in linea di principio tutte coordinate e momenti indipendenti, che sono tuttavia solitamente correlate da appropriate interazioni.

Possiamo ora applicare al problema una trasformazione canonica. Introduciamo una funzione d'azione S, dipendente dalle infinite coordinate x_i^l degli orologi situati l'uno dentro l'altro. Come prima possiamo scrivere

$$P_k^l = \frac{\partial S}{\partial x_k^l}(x_1^l \ldots x_k^l \ldots) \tag{21}$$

per tutti i livelli l.

Le costanti del moto si scrivono

$$I_c = \sum_{k,l} \oint P_k^l \delta x_k^l = \delta S_c \tag{22}$$

dove gli integrali sono calcolati su opportuni circuiti.

Ciascuna costante del moto (22) è una somma di integrali della forma $\oint P_k \delta x_k$; ma, come abbiamo visto, gli orologi devono soddisfare la condizione di fase $\oint P_k \delta x_k = 2n\pi\hbar$ per ogni circuito. Da ciò segue che anche la somma deve soddisfare la stessa condizione e ciò vale non solo per i circuiti corrispondenti a traiettorie reali, ma anche per circuiti virtuali compatibili con i valori assegnati delle costanti del moto. Ma le fluttuazioni legate alla dinamica dei livelli più profondi fanno sì che ciascun orologio possa sempre percorrere un circuito cosiffatto. La condizione $\delta S_c = 2n\pi\hbar$ è allora necessaria ad assicurare che gli orologi che raggiungono la stessa posizione seguendo cammini diversi casualmente fluttuanti abbiano la stessa fase. La concordanza di fase degli orologi in ciascun punto dello spazio-tempo è perciò equivalente alla condizione di quantizzazione dell'azione.

La coerenza interna di questo trattamento può essere verificata da un'ulteriore analisi, che elimina anche la necessità di introdurre l'ipotesi *ad hoc* che m_0c^2/ω_0 sia una costante universale uguale ad $\hbar$ per tutti gli orologi. Consideriamo ciascun orologio come un sistema composto, fatto di orologi più piccoli. Con buona approssimazione allora la fase dell'orologio può essere considerata una variabile collettiva associata alle coordinate spaziali degli orologi più piccoli, che ne rappresentano la struttura interna. Ora, l'integrale d'azione

$$I_c = \oint_c \sum_{k,l} P_k^l \delta q_k^l$$

è canonicamente invariante, nel senso che ha la stessa for-

ma per ogni insieme di variabili canoniche e il suo valore resta invariato in una trasformazione canonica. Perciò, passando dalle variabili di un certo livello alle coordinate collettive di quel livello, la restrizione che I_c sia un multiplo intero di h si applica anche all'integrale espresso in termini delle coordinate collettive. Le variabili collettive di ciascun livello soddisfano perciò la stessa regola di quantizzazione delle variabili originarie di quel livello. Ma, se le variabili collettive di un dato livello coincidono essenzialmente con le variabili del livello superiore, il quanto d'azione h dev'essere lo stesso per tutti i livelli. In questo modo è possibile ordinare coerentemente l'infinità non numerabile delle variabili di campo ai vari livelli.

Ogni orologio avrà allora un valore quantizzato della variabile d'azione I_c, associato al suo moto interno (cioè all'evoluzione nel tempo della sua fase). Ma abbiamo supposto che questo moto interno sia essenzialmente quello di un oscillatore armonico. Perciò, in base a un noto risultato classico, la sua energia interna è $E = J\omega_0/2\pi$; e siccome $J = Sh$, con S intero arbitrario, otteniamo $E = S\omega_0\hbar$. Ma E rappresenta anche l'energia a riposo dell'orologio, uguale a m_0c^2. Perciò

$$\frac{m_0c^2}{\omega_0} = S\hbar. \tag{23}$$

e, sostituendo nell'equazione (20),

$$\oint (E\delta t - p\delta x) = 2\pi\frac{m_0c^2}{\omega_0}\, n = nSh = n'h; \tag{24}$$

Se S è un intero arbitrario, anche nS lo è: non occorre pertanto introdurre separatamente l'assunzione che m_0c^2/ω_0 sia una costante universale uguale ad $\hbar$.

Per completare questo stadio dello sviluppo della teoria dobbiamo mostrare che l'ampiezza delle fluttuazioni nello spazio delle fasi delle variabili di ogni dato livello corrisponde ai requisiti del principio di indeterminazione di Heisenberg. In altre parole dobbiamo mostrare che il quanto d'azione h fornisce anche una misura della limitazione nel grado di autodeterminazione delle variabili a ogni livello di scala.

Per dimostrare ciò, notiamo che le fluttuazioni delle variabili di ciascun livello dipendono dalla dinamica del livello inferiore (di cui esse sono coordinate collettive); e, poiché le variabili d'azione del livello inferiore possono cambiare solo di multipli interi di h, non è una congettura implausibile che l'ampiezza delle fluttuazioni sia legata ai salti discreti delle variabili del livello inferiore.

Dimostreremo il teorema enunciato nel caso particolare in cui tutti i gradi di libertà possono essere rappresentati come oscillatori armonici accoppiati. Questa è una semplificazione del problema reale (che è nonlineare). I moti reali consisteranno in piccole perturbazioni sistematiche sovrapposte a uno sfondo infinitamente turbolento. Queste perturbazioni sistematiche possono essere trattate come coordinate collettive che descrivono il comportamento su larga scala degli orologi locali di un dato livello. In generale tali moti collettivi avranno la forma di processi ondulatori, in una certa approssimazione rappresentabili come moti armonici. Indichiamo allora la variabile d'azione e la variabile angolare dell'n-esimo oscillatore armonico del livello considerato rispettivamente con J_n e con ϕ_n. Nella misura in cui vale l'approssimazione lineare, J_n sarà una costante del moto e ϕ_n crescerà linearmente nel tempo secondo l'equazione $\phi_n = \omega_n t + \phi_{0n}$, dove ω_n è la velocità angolare dell'oscillatore. J_n e ϕ_n saranno legate alle variabili degli orologi di quel livello da una trasformazione canonica della forma (12). Dall'invarianza canonica della relazione di quantizzazione di Bohr-Sommerfeld generalizzata (16) segue che $J_n = Sh$, con S intero. Inoltre, le coordinate e i momenti coniugati degli oscillatori si possono scrivere nella forma[29]

$$p_n = 2\sqrt{J_n}\,\cos\phi_n, \quad q_n = 2\sqrt{J_n}\,\sin\phi_n.$$

Consideriamo ora un livello più alto di variabili canoniche, che indicheremo con Q_i^l e π_i^l. In linea di principio esse dipendono dalla totalità di tutti gli altri livelli: beninteso il livello immediatamente inferiore darà il contributo princi-

pale alla loro determinazione, ma anche gli altri livelli avranno qualche effetto. Perciò dobbiamo considerare π_i^l e Q_i^l come in linea di principio indipendenti dalle variabili di ogni singolo livello inferiore, incluse quelle del livello immediatamente inferiore.

Nella misura in cui vale l'approssimazione lineare, possiamo scrivere[30]

$$Q_i^l = \sum_n \alpha_{in} p_n = 2 \sum_n \alpha_{in} \sqrt{J_n} \cos\phi_n$$
$$\pi_i^l = \sum_n \beta_{in} q_n = 2 \sum_n \beta_{in} \sqrt{J_n} \sin\phi_n \tag{25}$$

dove α_{in} e β_{in} sono coefficienti costanti e dove la somma su n copre tutti i livelli diversi da l.

Se Q_i^l e π_i^l sono variabili canonicamente coniugate, la loro parentesi di Poisson dev'essere uguale all'unità:

$$\sum_n \left(\frac{\partial \pi_i^l}{\partial J_n} \frac{\partial Q_i^l}{\partial \phi_n} - \frac{\partial \pi_i^l}{\partial \phi_n} \frac{\partial Q_i^l}{\partial J_n} \right) = 1$$

Tenendo conto delle equazioni (25), questa relazione diventa

$$\Sigma \alpha_n \beta_n = 1 \tag{26}$$

Le equazioni (25) descrivono un moto molto complesso delle variabili Q_i^l e π_i^l, perché in un tipico sistema di oscillatori accoppiati le frequenze non sono in generale multipli razionali l'una dell'altra (salvo eventualmente in un insieme di misura nulla). Il moto è perciò una curva che 'riempie' lo spazio delle fasi (una curva quasi-ergodica), generalizzazione delle figure di Lissajou bidimensionali per due oscillatori armonici perpendicolari accoppiati con periodi che non stanno fra loro in un rapporto razionale.

Pur avendo una traiettoria ben definita in ogni istante, durante un intervallo di tempo τ abbastanza lungo rispetto ai periodi degli oscillatori del livello inferiore le variabili

Q_i^l e π_i^l descriveranno una curva che riempie essenzialmente tutta una regione dello spazio delle fasi. Calcoliamo allora la fluttuazione media di Q_i^l e di π_i^l in questa regione durante l'intervallo di tempo τ. Osservando che in media $Q_i^l = \pi_i^l = 0$, otteniamo

$$(\Delta Q_i^l)^2 = 4 \sum_{mn} \alpha_m \alpha_n \sqrt{J_m J_n \cos\phi_m \cos\phi_n} = 2 \sum_m (\alpha_m)^2 J_m$$
$$(\Delta \pi_i^l)^2 = 4 \sum_{mn} \beta_m \beta_n \sqrt{J_m J_n \sin\phi_m \sin\phi_n} = 2 \sum_n (\beta_n)^2 J_n \tag{27}$$

dove ci siamo serviti del fatto che in media $\cos\phi_m \cos\phi_n = \sin\phi_m \sin\phi_n = 0$ per $m \neq n$ (a eccezione dell'insieme di misura nulla in cui le frequenze ω_m e ω_n sono multipli razionali l'una dell'altra).

Supponiamo ora che tutti gli oscillatori, salvo un sottoinsieme di misura nulla, siano nel loro stato di eccitazione minima $J = h$. Questo sottoinsieme eccezionale rappresenta un'infinità numerabile di eccitazioni rispetto allo stato di 'vuoto', che, dato il loro piccolo numero, contribuiscono in misura trascurabile a $(\Delta Q_i^l)^2$ e $(\Delta \pi_i^l)^2$.

Possiamo allora sostituire $J_n = h$ nelle equazioni (27), ottenendo

$$(\Delta Q_i^l)^2 = 2 \sum_m (\alpha_m)^2 h$$
$$(\Delta \pi_i^l)^2 = 2 \sum_n (\beta_n)^2 h \tag{28}$$

Dalla disuguaglianza di Schwarz

$$\sum_{mn} |\alpha_m|^2 |\beta_n|^2 \geqslant \left| \sum_m \alpha_m \beta_m \right|^2 \tag{29}$$

si ricava allora

$$(\Delta \pi_i^l)^2 (\Delta Q_i^l)^2 \geqslant 4h^2 \tag{30}$$

Queste relazioni sono essenzialmente le relazioni di indeterminazione di Heisenberg. $\Delta\pi_i^l$ e AQ_i^l rappresentano in effetti un limite al grado di autodeterminazione delle variabili dell'l-esimo livello, perché tutte le quantità di questo livello corrispondono a medie calcolate su tempi lunghi in confronto al periodo $2\pi/\omega_n$ degli oscillatori. Abbiamo perciò dedotto dalla quantizzazione dell'azione il principio di indeterminazione di Heisenberg.

Notiamo che una relazione analoga alla (30) era stata ottenuta nel paragrafo 10 (equazione 9) in modo molto diverso, assumendo semplici fluttuazioni casuali del campo simili a quelle di una particella nel moto browniano. Perciò l'esistenza di un'infinità di variabili sottostanti, che soddisfano la condizione che le variabili d'azione J_n siano tutte quantizzate con la stessa costante h, dà luogo a moti che sui tempi lunghi riproducono certe caratteristiche essenziali delle fluttuazioni casuali dei moti browniani.

Abbiamo così portato a compimento il nostro compito di formulare nelle sue linee generali un modello fisico in grado di comprendere le regole di quantizzazione e le relazioni di indeterminazione di Heisenberg. Ora è facile vedere che questo modello, basato su una sequenza infinita di orologi uno dentro l'altro, può anche essere modificato in modo tale da distaccarsi radicalmente dalla teoria quantistica attuale a un livello più profondo. Infatti, supponiamo che la struttura descritta valga fino a una scala di grandezze caratterizzata da un tempo τ_0 e che per tempi più brevi essa venga sostituita da una struttura di tipo diverso. Allora in processi che comportano durate molto maggiori di τ_0 gli orologi saranno soggetti essenzialmente alle limitazioni che abbiamo visto, perché il loro moto non sarà influenzato sensibilmente della sottostruttura più profonda. Ma nei processi che implicano durate minori di τ_0 non c'è ragione di supporre che tali limitazioni debbano continuare a valere. Perciò le variabili J_n assumono solo valori discreti a certi livelli di scala, ma non sono necessariamente soggette a questa restrizione ad altri livelli.

A quei livelli dove cade la limitazione che le J_n siano multipli interi di h, la relazione (30) per le fluttuazioni di π_i^l e Q_i^l può non valere più. In essa, in luogo di h, apparirà una quantità $\bar{J}$, valor medio dell'azione associato a quel dato

livello. Inoltre i valori medi di $(\cos\phi_m \cos\phi_n)$ possono non essere più trascurabili, perché l'intervallo di tempo su cui vengono calcolati è troppo breve. Pertanto, è possibile apportare cambiamenti di ogni genere alle regole che determinano le J_n e a quelle che determinano l'ampiezza delle fluttuazioni a un livello più profondo. Ciò nonostante, ai livelli di scala corrispondenti alla teoria quantistica, le regole usuali restano valide con un alto grado di approssimazione.

13. Esperimenti atti a sondare il livello subquantico

Siamo ora in grado di discutere, almeno in termini generali, le condizioni in cui potrebbe essere possibile mettere sperimentalmente alla prova l'esistenza di un livello subquantico. Questo completa la nostra risposta alle critiche avanzate da Heisenberg e Bohr all'idea dei parametri nascosti.

In primo luogo ricordiamo che la dimostrazione di Heisenberg delle relazioni di indeterminazione è basata sull'assunzione implicita che la misura si serva soltanto di processi che soddisfano le leggi generali dell'attuale teoria quantistica. Così, nel famoso esempio del microscopio a raggi gamma, Heisenberg suppone di osservare la posizione di un elettrone proiettando su di esso un raggio gamma che viene diffuso dalla particella, attraversa una lente e colpisce una lastra fotografica. Questo processo di diffusione è un caso di effetto Compton e la dimostrazione delle relazioni di indeterminazione dipende essenzialmente dal fatto che l'effetto Compton obbedisce alle leggi della teoria quantistica (conservazione dell'energia e della quantità di moto in un processo di diffusione 'indivisibile', carattere ondulatorio del fotone diffuso nell'attraversare la lente e incompleto determinismo della macchia corpuscolare prodotta sulla lastra fotografica). In generale, ogni dimostrazione delle relazioni di indeterminazione assume necessariamente che tutti gli stadi del processo di misura siano correttamente descritti dalle leggi della teoria quantistica. Perciò assumere che il principio di indeterminazione di Heisenberg abbia validità universale equivale, in ultima analisi, a supporre che le leggi generali della teoria quantistica abbiano validità universale. Questa supposizione viene semplicemente espressa in

termini di *relazioni esterne* fra la particella e un apparecchio di misura, anziché di caratteristiche interne della particella stessa. Dal nostro punto di vista, il principio di Heisenberg non va considerato fondamentalmente come una relazione esterna che esprime l'impossibilità di eseguire misure di precisione illimitata nell'ambito quantistico. Esso va invece visto essenzialmente come un'espressione del grado incompleto di *autodeterminazione* che caratterizza tutte le entità definibili al livello quantistico. Per osservare tali entità dobbiamo servirci di processi che avvengono anch'essi al livello quantistico: il processo di misura è soggetto perciò alle stesse limitazioni di autodeterminazione che si applicano a tutti gli altri processi dello stesso livello. È un po' come se osservassimo un moto browniano con un microscopio soggetto allo stesso tipo di fluttuazioni casuali del sistema che cerchiamo di osservare.

Tuttavia, come abbiamo visto nei paragrafi 10 e 12, è possibile, e in verità abbastanza plausibile, che dei processi subquantici caratterizzati da dimensioni spaziali e temporali molto piccole non siano soggetti alle stesse limitazioni di autodeterminazione dei processi quantistici. Naturalmente, è probabile che questi processi subquantici coinvolgano entità di tipo fondamentalmente nuovo, tanto diverse dagli elettroni, dai protoni, eccetera, quanto questi ultimi lo sono dai sistemi macroscopici. Perciò per osservarle occorrerà sviluppare metodi completamente nuovi, così come è stato necessario sviluppare nuovi metodi per osservare gli atomi, gli elettroni, i neutroni, eccetera. Tali metodi dovranno servirsi di interazioni governate da leggi subquantiche. In altre parole, così come il microscopio a raggi gamma si basa sull'esistenza dell'effetto Compton, un 'microscopio subquantico' dovrà basarsi su nuovi effetti, il cui grado di autodeterminazione non sia soggetto alle limitazioni imposte dalla teoria quantistica. Questi effetti potranno allora realizzare una correlazione fra lo stato di una variabile subquantica e un evento macroscopico osservabile con precisione maggiore di quella consentita dalle relazioni di Heisenberg.

Naturalmente non dobbiamo aspettarci di poter determinare effettivamente nel modo sopra descritto tutte le variabili subquantiche, in modo da poter prevedere il futuro in ogni dettaglio. Il nostro scopo dovrebbe essere invece soltanto quello di mettere in luce con alcuni esperimenti cruciali l'esistenza del livello subquantico, di studiarne le leggi e di servirci di tali leggi per spiegare e prevedere le proprietà dei sistemi di livello più alto più dettagliatamente e con maggiore precisione di quanto faccia l'attuale teoria quantistica.

Per rendere il discorso un po' più specifico, ricordiamo una conclusione a cui siamo giunti nel paragrafo precedente e cioè il fatto che, se a un certo livello la variabile d'azione è divisibile in unità più piccole di h, le limitazioni al grado di autodeterminazione che si applicano a tale livello sono meno severe di quelle espresse dalle relazioni di Heisenberg. Perciò possono benissimo esserci processi relativamente divisibili e autodeterminati a livelli subquantici. Ma come possiamo osservarli sulla nostra scala macroscopica?

Per rispondere a questa domanda possiamo riferirci a titolo di esempio alle equazioni (25), che mettono in evidenza in un caso tipico come le variabili di un dato livello dipendano da tutte le variabili dei livelli inferiori. Perciò, se π_i^l e Q_i^l sono le variabili del livello classico, esse sono determinate soprattutto dalle p_i^l e q_i^l del livello quantistico; ma c'è anche qualche effetto dei livelli subquantici. In genere questi effetti saranno molto piccoli. Ma in casi particolari (per esempio per una particolare disposizione sperimentale) le π_i^l e Q_i^l potrebbero dipendere significativamente dalle p_i^l e q_i^l di un livello subquantico. Naturalmente questo significherebbe l'accoppiamento di un qualche nuovo tipo di processo subquantico (per ora sconosciuto, ma che potrebbe venire scoperto in futuro) con la scala macroscopica dei fenomeni classici osservabili. Presumibilmente si tratterà di un processo che comporta alte frequenze e perciò alte energie, ma in modo nuovo.

Inoltre, anche quando gli effetti subquantici sulle variabili del livello classico π_i^l e Q_i^l sono piccoli, essi non sono tuttavia identicamente nulli. È perciò possibile cercare tali effetti anche eseguendo esperimenti di vecchio tipo con precisione estremamente elevata. Per esempio, avevamo ottenuto la relazione $J_n = nh$ nell'equazione (24) supponendo che il quanto d'azione fosse universalmente uguale ad h a tutti i livelli. Deviazioni subquantiche da questa regola si rifletterebbero a livello classico in un minuscolo er-

rore nella relazione $E = nh\nu$ per un oscillatore armonico. Ricordiamo che nella teoria classica non c'è nessun rapporto speciale fra energia e frequenza: questa situazione può in una certa misura riproporsi a livello subquantico. Di conseguenza potremmo scoprire una piccola fluttuazione nella relazione fra energia e frequenza. Per esempio, potremmo avere

$$E_n = nh\nu + \epsilon$$

dove ϵ è una quantità molto piccola fluttuante in maniera casuale (che cresce al crescere della frequenza). Per cercare una fluttuazione di questo genere si potrebbe misurare la frequenza di un raggio di luce con precisione $\Delta\nu$. Se si trovasse una fluttuazione dell'energia, non riconducibile a un effetto quantistico, superiore a $\hbar\Delta\nu$, l'esperimento potrebbe essere ritenuto un'indicazione dell'esistenza di fluttuazioni subquantiche.

Con questo abbiamo completato la nostra risposta alle critiche di Bohr e di Heisenberg, secondo cui un livello subquantico di parametri nascosti in cui il quanto d'azione fosse divisibile non sarebbe mai stato sperimentalmente osservabile. Questo implica anche che non ci sono valide ragioni per ritenere con Bohr che il concetto di processi materiali esattamente definiti ed autodeterminantisi si applichi esclusivamente al livello classico (corrispondente ai fenomeni macroscopici osservabili abbastanza direttamente). Abbiamo visto che possiamo applicare lo stesso concetto anche a un livello subquantico, il cui rapporto con il livello classico sarà relativamente indiretto, ma pur sempre tale da poter produrre in linea di principio degli effetti osservabili.

Consideriamo infine il paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky. Come abbiamo detto nel paragrafo 4, le caratteristiche correlazioni quantistiche fra sistemi lontani sono facilmente spiegabili in termini di interazioni nascoste a livello subquantico. Con un'infinità di campi fluttuanti a livello subquantico, abbiamo a disposizione una dinamica sufficientemente ricca per spiegare queste correlazioni. La sola vera difficoltà è spiegare come le correlazioni si mantengano anche quando cambiamo improvvisamente la scelta

della variabile misurata in uno dei due sistemi, cioè quando cambiamo la disposizione sperimentale mentre i due atomi sono in volo. Come fa allora il sistema lontano a ricevere istantaneamente l'informazione che sull'altro sistema viene misurata una diversa variabile e a comportarsi di conseguenza?

Per rispondere a questa domanda notiamo prima di tutto che le correlazioni quantistiche fra sistemi lontani sono state sperimentalmente osservate solo in situazioni in cui gli apparecchi di misura al momento dell'esperimento si trovavano già in posizione da un tempo tanto lungo che essi potevano benissimo aver raggiunto un equilibrio con il sistema originario tramite interazioni subquantiche[31]. Per esempio, nell'esperimento descritto nel paragrafo 4, molti impulsi hanno la possibilità di viaggiare avanti e indietro fra la molecola e gli apparecchi che misurano lo spin ancor prima che la molecola si disintegri. È perciò possibile che il comportamento della molecola sia in qualche modo 'guidato' da segnali provenienti dagli apparecchi in modo tale da emettere atomi i cui spin siano allineati con la direzione in cui verranno misurati.

L'esperimento cruciale qui consisterebbe nel cambiare l'orientamento dell'apparecchio di misura in un tempo più breve di quello occorrente a un segnale per propagarsi dall'apparecchio al sistema osservato e viceversa. Che cosa osserveremmo se questo esperimento fosse effettivamente realizzato non lo sappiamo ancora. È possibile che l'esperimento riveli una deviazione dalle tipiche correlazioni quantistiche. Se questo dovesse accadere indicherebbe una violazione dei principi fondamentali della teoria quantistica, perché tale comportamento sarebbe inspiegabile per la teoria quantistica. Esso sarebbe invece facilmente spiegabile in termini dell'incapacità delle interazioni subquantiche di instaurare le opportune correlazioni in maniera sufficientemente rapida.

D'altro canto, se un esperimento cosiffatto dovesse confermare le correlazioni previste dalla teoria quantistica, ciò non dimostrerebbe l'inesistenza di un livello subquantico. Infatti, anche il dispositivo meccanico che improvvisamente cambia l'orientamento dell'apparecchio di misura deve avere delle interazioni subquantiche con tutte le parti del si-

stema; e attraverso di esse può ancora venir trasmesso alla molecola un 'segnale' che le indichi quale componente dello spin sta per essere misurata. Naturalmente possiamo aspettarci che a un certo livello di complessità del dispositivo sperimentale questa trasmissione di informazione a livello subquantico non possa più avvenire. Ma in assenza di una teoria dettagliata del livello subquantico non è possibile sapere a priori a che punto ciò debba accadere. In ogni caso, i risultati di un esperimento di questo genere sarebbero sicuramente molto interessanti.

14. Conclusione

In conclusione, abbiamo sviluppato abbastanza la teoria da mostrare che è possibile spiegare le caratteristiche essenziali della meccanica quantistica in termini dell'esistenza di parametri nascosti a livello subquantico. Una teoria di questo genere può avere un contenuto sperimentale nuovo, specialmente nell'ambito delle distanze molto piccole e delle altissime energie, dove alcuni fenomeni non sono molto ben descritti dalle teorie attuali. Essa può avere un contenuto sperimentale diverso anche riguardo a certe caratteristiche delle correlazioni fra sistemi lontani. Inoltre abbiamo visto che essa apre nuove possibilità per l'eliminazione delle divergenze contenute nelle teorie attuali, anch'esse associate alle brevi distanze e alle alte energie. (Per esempio, nel paragrafo 10 abbiamo visto che abbandonare il principio di Heisenberg per tempi sufficientemente brevi potrebbe eliminare gli effetti infiniti delle fluttuazioni quantistiche.)

Naturalmente, la teoria come è stata qui sviluppata è lungi dall'essere completa. Occorre mostrare come si ottengono l'equazione di Dirac per i fermioni e le consuete equazioni d'onda per i bosoni. In questi problemi sono stati fatti progressi notevoli, ma non è questo il luogo per discuterli. Passi avanti sono stati fatti anche nella trattazione sistematica delle nuove particelle (mesoni, iperoni, eccetera) in termini del nostro schema. Tutte queste cose verranno pubblicate in seguito e altrove.

Tuttavia, anche nella sua attuale forma incompleta la teoria risponde alle critiche di coloro che ritenevano in linea di principio impossibile una teoria a parametri nascosti, oppure ritenevano che una tale teoria non potesse avere alcun contenuto sperimentale reale. Come minimo, la teoria sembra promettente nel senso di poter fare luce su alcuni problemi sperimentali, oltre che sui problemi che nascono dalla mancanza di coerenza interna della teoria attuale.

Per tutte queste ragioni sembra che sia importante oggi, se non vogliamo farci guidare da preconcetti dogmatici, prendere in considerazione le teorie a parametri nascosti. I preconcetti non solo limitano il nostro pensiero in maniera ingiustificabile; essi limitano anche il campo degli esperimenti che tendiamo a realizzare (dato che gran parte degli esperimenti mira, dopo tutto, a rispondere alle domande sollevate da una qualche teoria).

Naturalmente, sarebbe altrettanto dogmatico sostenere che l'interpretazione attuale della teoria quantistica abbia esaurito tutte le sue possibilità di utile applicazione a questi problemi. Ciò che occorre oggi è seguire molte linee di ricerca, perché non possiamo sapere a priori quale sia quella giusta. Inoltre, la dimostrazione della possibilità di teorie a parametri nascosti può servire in un senso filosofico più generale a ricordarci l'inaffidabilità di conclusioni che assumono la completa universalità di certe caratteristiche di una data teoria, per quanto generale possa sembrare il loro campo di applicabilità.

NOTE

[1] D. Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1957.

[2] *Vedi* J. von Neumann *Mathematical Foundations of the Quantum Theory*, Princeton University Press, 1955; W. Heisenberg *The Physical Principles of the Quantum Theory*, University of Chicago Press, 1930; P. Dirac *The Principles of Quantum Mechanics*, Oxford University Press, 1947; *Albert Einstein, Philosopher Scientist*, a cura di P.A. Schilp, Tudor Press, New York, 1957 (*vedi* particolarmente il capitolo 7 per una discussione del punto di vista di Bohr).

[3] *Ibid.*

[4] Von Neumann *op. cit.*

[5] A. Einstein, N. Rosen e B. Podolsky 'Phys. Rev.', vol. 47, 1935, pag. 777.

[6] D. Bohm *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York, 1951.

[7] Per una discussione del punto di vista di Bohr *vedi* Schilp *op. cit.*, capitolo 7.

[8] D. Bohm 'Phys. Rev.', vol. 85, 1952, pagg. 166, 180.

[9] L. de Broglie 'Compt. rend.', vol. 183, 1926, pag. 447 e vol. 185, 1927, pag. 380; *Revolution in Modern Physics*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1954.

[10] D. Bohm e J.V. Vigier 'Phys. Rev.', vol. 96, 1954, pag. 208.

[11] Per una discussione più dettagliata *vedi* Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*, capitolo 4.

[12] Bohm e Vigier *op. cit.*; Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*.

[13] D. Bohm 'Phys. Rev.', vol. 85, 1952, pagg. 166, 180; Bohm e Vigier *op. cit.*; Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*.

[14] Bohm e Vigier *op. cit.*

[15] D. Bohm 'Phys. Rev.', vol. 85, 1952, pagg. 166, 180; Bohm e Vigier *op. cit.*; Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*.

[16] J. Kallen 'Physica', vol. 19, 1953, pag. 850; 'Kgl Danske Videnskab. Selskab, Matfys. Medd.', vol. 27, n. 12, 1953; 'Nuovo Cimento', vol. 12, 1954, pag. 217; A.S. Wightman 'Phys. Rev.', vol. 98, 1955, pag. 812; L. van Hove 'Physica', vol. 18, 1952, pag. 145.

[17] *Ibid.*

[18] Comunicazioni private.

[19] Comunicazioni private.

[20] Van Hove *op. cit.*; comunicazioni private.

[21] Un risultato simile si ottiene trattando le proprietà globali di un aggregato contenente un gran numero di particelle interagenti. Si ottengono delle proprietà collettive (per esempio, oscillazioni) che si autodeterminano quasi indipendentemente dai dettagli del moto delle singole particelle. *Vedi* D. Bohm e D. Pines 'Phys. Rev.', vol. 85, 1953, pag. 338 e vol. 92, 1953, pag. 609.

[22] Questa analogia è stata messa in luce per primo da Frth per il moto browniano di una particella. *Vedi* D. Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*, cap. 4.

[23] Bohm e Pines *op. cit.*

[24] M. Born *Mechanics of the Atom*, Bell, Londra, 1927; H. Goldstein *Classical Mechanics*, Addison-Wesley, Cambridge, Mass., 1953.

[25] *Ibid.*

[26] Born *op. cit.*

[27] Comunicazione privata.

[28] Per esempio, un motore elettrico sincrono tende a girare in fase con la corrente alternata proveniente dal generatore. Ci sono innumerevoli esempi di questo genere nella teoria delle oscillazioni non-lineari. Un'esposizione più esauriente delle oscillazioni non-lineari è contenuta in H. Jehle e J. Cahn 'Am. J. Phys.', vol. 21, 1953, pag. 526.

[29] Born *op. cit.*

[30] È possibile prendere combinazioni lineari un po' più generali, ma esse complicano le espressioni senza cambiare le caratteristiche di fondo del problema.

[31] D. Bohm e Y. Aharonov 'Phys. Rev.', vol. 108, 1957, pag. 1070.

5

La teoria quantistica come indicazione di un nuovo ordine nella fisica

PARTE A: LO SVILUPPO DI NUOVI ORDINI NELLA STORIA DELLA FISICA

1. Introduzione

Ogni cambiamento rivoluzionario in fisica ha comportato la percezione di un nuovo ordine e lo sviluppo di nuovi modi di usare il linguaggio appropriati alla comunicazione di esso.

Cominceremo discutendo in questo capitolo certi aspetti della storia della fisica che possono aiutarci a intuire che cosa significhino la percezione e la comunicazione di un nuovo ordine. Nel prossimo capitolo presenteremo i nostri suggerimenti sul nuovo ordine indicato dalle riflessioni sulla teoria quantistica.

Nei tempi antichi si aveva solo un'idea vaga e qualitativa di ordine naturale. Con lo sviluppo della matematica, particolarmente dell'aritmetica e della geometria, nacque la possibilità di definire più precisamente forme e rapporti, per esempio di descrivere in dettaglio le orbite dei pianeti, eccetera. Ma tali descrizioni matematiche dettagliate del moto dei pianeti e degli altri corpi celesti implicavano certi concetti generali di ordine. Per esempio, gli antichi Greci pensavano che la Terra si trovasse al centro dell'universo e che fosse circondata da sfere, le quali si avvicinavano vieppiù alla perfezione della materia celeste man mano che si allontanavano dalla Terra. Si riteneva che la perfezione della materia celeste si manifestasse in orbite circolari, poiché il cerchio era considerato la figura geometrica più perfetta, mentre l'imperfezione della materia terrestre si manifestava nei suoi moti complicati e apparente-

mente arbitrari. Così l'universo veniva percepito e descritto in termini di un certo ordine globale, l'ordine dei gradi di perfezione, corrispondente all'ordine delle distanze dal centro della Terra.

Tutta la fisica veniva compresa in termini di concetti di ordine simili a questo. Aristotele, per esempio, paragonava l'universo a un organismo vivente, in cui ogni parte aveva una sua collocazione e funzione e tutte le parti collaboravano a formare un tutto unico. In seno a questo tutto un oggetto poteva muoversi solo se una forza agiva su di esso; e le forze venivano pensate come le cause del moto. L'ordine del movimento era perciò determinato dall'ordine delle cause, che a sua volta dipendeva dal posto e dalla funzione di ciascuna parte in seno al tutto.

Questo modo di percepire e comunicare l'ordine fisico non era affatto in contraddizione con l'esperienza comune (in cui, per esempio, il movimento è di solito possibile solo quando c'è una forza che permette di superare gli attriti). Quando le osservazioni astronomiche divennero più accurate, si scoprì che le orbite dei pianeti non erano in realtà dei cerchi perfetti: ma questo fatto fu integrato nel concetto di ordine esistente rappresentando tali orbite come sovrapposizione di *epicicli*, cioè di cerchi all'interno di cerchi. In questo troviamo un esempio della grande capacità di *adattamento* di una concezione di ordine, adattamento che permette di continuare a percepire le cose e a parlarne in termini di nozioni essenzialmente fisse anche in presenza di fatti che sembrano scuotere profondamente la concezione di ordine esistente. Grazie a tali adattamenti, per migliaia di anni gli esseri umani hanno continuato a vedere nel cielo notturno epicicli, indipendentemente dal contenuto dettagliato delle loro osservazioni.

È chiaro allora che una nozione fondamentale di ordine, come quella espressa in termini di epicicli, non può mai venire contraddetta in maniera decisiva, perché può sempre venire adattata facendola combaciare con i fatti osservati. A un certo punto, tuttavia, nella ricerca scientifica venne emergendo uno spirito nuovo che portò a mettere in discussione la *rilevanza* del vecchio ordine, particolarmente da parte di Copernico, Keplero e Galileo. Il risultato di queste discussioni fu la proposta che la differenza fra materia ter-

restre e materia celeste non fosse in effetti molto significativa. La differenza cruciale era invece quella fra moto della materia nello spazio vuoto e moto in un mezzo viscoso. Perciò Aristotele aveva ragione nell'affermare che la materia così come la percepiamo comunemente si muove solo sotto l'azione di una forza, ma aveva torto nel supporre che questa esperienza ordinaria fosse indicativa delle leggi fondamentali della fisica. La differenza fondamentale fra materia celeste e materia terrestre non stava quindi tanto nel grado di perfezione, ma piuttosto nel fatto che la materia celeste si muove senza attrito nel vuoto, mentre la materia terrestre è sottoposta agli attriti in un mezzo viscoso.

Evidentemente questa nuova concezione non corrispondeva all'idea dell'universo come unico organismo vivente. Piuttosto l'universo andava ora fondamentalmente descritto come analizzabile in parti o oggetti separatamente esistenti (per esempio, pianeti, atomi, eccetera), ciascuno dei quali si muove nel vuoto. Queste parti potevano funzionare insieme in interazione, più o meno come le parti di una macchina, ma non potevano crescere, svilupparsi e funzionare secondo fini determinati da una 'totalità organica'. L'ordine fondamentale per la descrizione del movimento delle parti di questa 'macchina' era considerato quello delle successive posizioni di ciascun oggetto costituente in momenti successivi. Perciò un nuovo ordine divenne rilevante e fu necessario sviluppare un nuovo uso del linguaggio per descrivere questo nuovo ordine.

Nello sviluppo di nuovi modi di usare il linguaggio le coordinate cartesiane ebbero un ruolo fondamentale. In verità, la parola stessa 'coordinata' implica una funzione di *ordinamento*. Questo ordinamento si ottiene per mezzo di tre insiemi perpendicolari di linee uniformemente distanziate. Ciascun insieme di linee è evidentemente un ordine (simile all'ordine dei numeri interi). Una data curva è allora determinata dalla *coordinazione* fra gli ordini X, Y e Z.

Evidentemente le coordinate non vanno considerate come oggetti naturali. Esse sono piuttosto soltanto convenienti forme di descrizione create da noi. Come tali, esse hanno un alto grado di arbitrarietà o convenzionalità (per esempio, nell'orientamento, nella scala, nell'ortogonalità, eccetera, del sistema di coordinate). Malgrado questa arbitrarietà, è possibile, come oggi sappiamo bene, esprimere nel linguaggio delle coordinate anche leggi generali non arbitrarie. Una legge cosiffatta dovrà assumere la forma di una relazione *invariante* rispetto a cambiamenti nelle caratteristiche arbitrarie dell'ordine descrittivo. SW

L'uso di coordinate corrisponde in effetti a un ordinamento della nostra attenzione appropriato a una visione meccanica dell'universo; e perciò anche a un analogo ordinamento delle nostre percezioni e del nostro pensiero. Aristotele, per esempio, avrebbe probabilmente capito il significato delle coordinate cartesiane, ma le avrebbe trovate poco significative ai fini della comprensione dell'universo come organismo. Quando gli esseri umani furono pronti a concepire l'universo come una macchina, essi accettarono naturalmente l'ordine delle coordinate come universalmente rilevante, valido per tutte le descrizioni fisiche fondamentali.

All'interno di questo nuovo ordine cartesiano di percezione e di pensiero, cresciuto a partire dal Rinascimento, Newton riuscì a scoprire una legge molto generale. Essa può essere formulata così: Com'è l'ordine del movimento nella caduta di una mela, così è nel moto della Luna e così è in *tutto*. Questa era una nuova percezione di legge, cioè di armonia universale nell'ordinamento della natura, descritta in dettaglio per mezzo delle coordinate. Una tale percezione è un lampo di intuizione molto penetrante, di natura fondamentalmente *poetica*. In effetti, la radice della parola 'poesia' è il greco *poiein*, che significa 'fare' o 'creare'. Perciò nei suoi aspetti più originali la scienza assume la qualità di comunicazione poetica della percezione creativa di un nuovo ordine.

Un modo un po' più 'prosaico' di formulare l'intuizione di Newton è scrivere $A{:}B :: C{:}D$.

Vale a dire: come stanno fra loro in relazione le successive posizioni A e B della mela, così stanno fra loro in relazione le successive posizioni C e D della Luna. Questo rappresenta un concetto generalizzato di ciò che potremmo chiamare rapporto o *ratio*. Qui prendiamo *ratio* nel suo senso più ampio, nel senso originale latino che abbraccia tutta la *ragione*. La scienza perciò si propone di scoprire il rapporto, la *ratio*, la ragione universale delle cose, che inclu-

de non solo il rapporto o la proporzione numerica fra le cose ($A/B = C/D$), ma anche la loro similitudine qualitativa.

Una legge razionale non è esclusivamente l'espressione di un rapporto di *causalità*. La ragione, nel senso in cui la intendiamo qui, va ben al di là della causalità, che è solo un caso particolare di rapporto razionale. La forma fondamentale di una relazione causale è: Io compio una certa azione X e causo una certa cosa. Una legge causale perciò ha la forma: Come in queste mie azioni causali, così avviene in certi processi osservabili in natura. Perciò una legge causale rappresenta un certo *tipo limitato* di ragione, mentre in generale una spiegazione razionale ha la forma: Come le cose sono in rapporto in una certa idea o concetto, così sono in rapporto fra loro nei fatti.

È chiaro da questa discussione che nella ricerca di una nuova struttura della ragione o della razionalità è cruciale in primo luogo discernere le differenze rilevanti. Cercare una connessione razionale fra differenze irrilevanti porta all'arbitrarietà, alla confusione e ad una generale sterilità del pensiero (come accade a un certo punto con la teoria degli epicicli). Perciò dobbiamo essere pronti a lasciar cadere i nostri vecchi presupposti su quali siano le differenze rilevanti. Questo si è spesso dimostrato molto difficile da fare, perché tendiamo a dare un valore psicologico molto grande alle idee che ci sono familiari.

2. Che cos'è l'ordine?

Finora ci siamo serviti del termine 'ordine' in contesti più o meno familiari a tutti, in modo che il suo significato risulta abbastanza chiaro dal suo uso. Ma la nozione di ordine è rilevante in contesti molto più ampi. Perciò non dobbiamo necessariamente limitarci a considerare l'ordine, per esempio, come disposizione regolare di oggetti o forme in righe e colonne (come in un sistema di coordinate), ma possiamo considerare ordini molto più generali, come quello della crescita di un essere vivente, quello dell'evoluzione di una specie, l'ordine di una società, quello di una composizione musicale, di un dipinto, il significato di una comunicazione, eccetera. Se vogliamo studiare questi contesti più

ampi, il concetto d'ordine a cui abbiamo accennato in precedenza in questo capitolo non è più, evidentemente, adeguato. Siamo perciò condotti a porci la domanda generale: Che cos'è l'ordine?

Il concetto di ordine è tanto vasto e ha implicazioni tanto immense che non è possibile definirlo a parole. Il meglio che possiamo fare è cercare di 'indicarlo' tacitamente e implicitamente, nella più ampia gamma possibile di contesti in cui il concetto è rilevante. Tutti conosciamo l'ordine implicitamente e una tale 'indicazione' può forse comunicare un significato globale del concetto senza bisogno di una precisa definizione verbale. Per cominciare a comprendere l'ordine in questo senso generale, possiamo in primo luogo ricordare che alle origini della fisica classica la percezione di un nuovo ordine del movimento ha comportato la rilevazione di nuove differenze (posizioni di oggetti in momenti successivi) e di nuove somiglianze fra le differenze (somiglianze di rapporti fra queste differenze). Voglio suggerire qui che questo sia il seme o il nucleo di un modo molto generale di percepire l'ordine: *fare attenzione a differenze simili e a somiglianze diverse*[1].

Possiamo illustrare questi concetti in termini di una curva geometrica. Per semplificare, approssimiamo la curva con una serie di segmenti rettilinei di uguale lunghezza. Cominciamo con una linea retta.

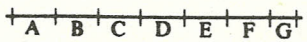

Figura 5.1

Come si vede nella figura 5.1, su una linea retta tutti i segmenti hanno la stessa direzione e la sola differenza fra loro sta nella posizione. La differenza fra il segmento A e il segmento B è perciò una traslazione spaziale, che è simile alla differenza fra il segmento B e il segmento C, e così via. Perciò possiamo scrivere:

$$A{:}B :: B{:}C :: C{:}D :: D{:}E.$$

Questa espressione di una *ratio*, di un insieme di rappor-

ti, di una 'ragione', definisce quella che possiamo chiamare una curva della *prima classe*, cioè una curva che presenta una sola differenza indipendente.

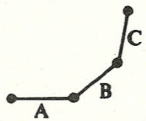

Figura 5.2

Poi consideriamo un cerchio, illustrato nella figura 5.2. Qui la differenza fra A e B è di direzione oltre che di posizione. Perciò abbiamo una curva con due differenze indipendenti, che è perciò della *seconda classe*. Abbiamo tuttavia ancora un unico rapporto fra le differenze: $A{:}B :: B{:}C$.

Veniamo ora a una curva elicoidale. Qui l'angolo fra i segmenti gira in una terza dimensione e abbiamo perciò una curva della *terza classe*. Anch'essa è determinata da un unico rapporto, $A{:}B :: B{:}C$.

Finora abbiamo considerato vari *tipi* di somiglianze nelle differenze per generare curve della prima, seconda, terza classe, eccetera. Ma in ciascuna curva la somiglianza (il rapporto, la *ratio*) fra i passi successivi restava invariante. Adesso consideriamo curve in cui *questa somiglianza sia diversa* man mano che procediamo lungo la curva. In questo modo siamo indotti a prendere in considerazione non solo *differenze simili*, ma anche *diverse somiglianze delle differenze*.

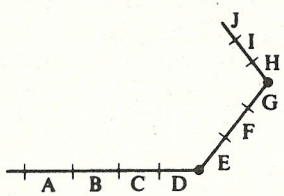

Figura 5.3

Possiamo illustrare questo concetto per mezzo di una curva che sia una sequenza di tratti rettilinei con direzioni diverse (fig. 5.3). Per il primo tratto della curva (*ABCD*) possiamo scrivere:

$$A{:}B^{S_1}{::}B{:}C.$$

Il simbolo S_1 indica il 'primo tipo di somiglianza', cioè quello che si riferisce alla direzione lungo la linea *ABCD*. Poi possiamo scrivere per i tratti *EFG* e *HIJ*:

$$E{:}F^{S_2}{::}F{:}G \quad \text{e} \quad H{:}I^{S_3}{::}I{:}J$$

dove S_2 sta per 'somiglianza del secondo tipo' e S_3 per 'somiglianza del terzo tipo'.

Possiamo ora considerare la differenza fra le successive somiglianze S_1, S_2, S_3,... come un *secondo grado di differenza*. Su questa base possiamo anche sviluppare un *secondo grado di somiglianza* fra queste differenze: $S_1{:}S_2 :: S_2{:}S_3$.

Avendo introdotto così quello che è in pratica l'inizio di una gerarchia di somiglianze e differenze, possiamo considerare curve con un grado di ordine arbitrariamente alto. Quando il grado di ordine diventa indefinitamente alto, otteniamo quelle che sono comunemente dette curve 'casuali', come le traiettorie che si incontrano nel moto browniano. Questo tipo di curva non è descrivibile per mezzo di un numero finito di passi. Tuttavia non sarebbe corretto chiamarla una curva 'disordinata', cioè *priva di qualsiasi ordine*. Piuttosto, ha un certo tipo di ordine che è di grado infinitamente alto.

In questo modo siamo indotti ad apportare un cambiamento importante al linguaggio con cui descriviamo le cose. Non ci serviamo più del termine 'disordine', bensì distinguiamo vari gradi di ordine (cosicché, per esempio, c'è una gradazione continua di curve, a partire da quelle di primo grado, procedendo passo passo fino a quelle che sono in genere dette 'casuali').

È importante aggiungere qui che l'ordine non va identificato con la *prevedibilità*. La prevedibilità è una proprietà di un tipo particolare di ordine, quello in cui pochi passi bastano a determinare l'intero ordine (come accade, per

esempio, nelle curve di basso grado). Esistono ordini complessi e sottili che non sono essenzialmente prevedibili: per esempio, un bel dipinto è altamente ordinato, ma il suo ordine non consente di prevederne una parte in base a un'altra.

3. La misura

Sviluppando il concetto di ordine di grado elevato abbiamo implicitamente introdotto l'idea che ciascun sottordine abbia un *limite*. Così, per esempio, nella figura 5.3 l'ordine della linea *ABCD* raggiunge il suo limite alla fine del segmento *D*. Al di là di questo limite inizia un altro ordine, *EFG*, e così via. Perciò la descrizione di una gerarchia di ordini di alto grado implica in generale l'idea di limite.

È significativo notare qui che nei tempi antichi il significato fondamentale della parola 'misura' era quello di 'limite' o 'confine'. In questo senso si poteva dire che ogni cosa avesse la propria giusta misura. Per esempio, si riteneva che quando il comportamento umano travalicava i suoi giusti limiti (la sua misura) i risultati fossero necessariamente tragici (come incisivamente espresso dalle tragedie greche). La misura era in verità ritenuta essenziale per comprendere il bene. La parola 'medicina' proviene dal latino *mederi*, 'curare', che deriva da una radice che significa 'misura'. Questo implicava che essere sani significasse avere tutto nella giusta misura, nel corpo e nello spirito. Analogamente la saggezza era identificata con la *moderazione* e la *modestia*, la cui radice comune deriva anch'essa da 'misura': l'uomo saggio è colui che mantiene ogni cosa nella giusta misura.

Un esempio fisico di uso della parola 'misura' in questo senso potrebbe essere dire che 'la misura dell'acqua' è fra 0 e 100 °C. In altre parole, la misura in primo luogo definisce i limiti di certe qualità o di certi ordini del movimento e del comportamento.

Naturalmente una misura va *specificata* per mezzo di proporzioni e rapporti, ma, dal punto di vista della concezione antica, tale specificazione è secondaria rispetto al significato del confine o limite che viene indicato. E questa specificazione può anche non essere in termini di proporzioni quantitative, bensì di una 'ragione' qualitativa (per esempio, nella tragedia la giusta misura del comportamento umano è specificata in termini qualitativi anziché di rapporti numerici).

L'uso moderno della parola 'misura' tende a sottolineare l'aspetto di proporzione quantitativa o rapporto numerico molto più che nei tempi antichi. Tuttavia il concetto di limite o confine è ancora presente sullo sfondo. Così, per esempio, nel costruire una *scala* di lunghezze si fissano delle divisioni che sono in effetti *limiti* o *confini* di segmenti ordinati.

Facendo attenzione in questo modo ai significati antichi delle parole insieme con i loro significati correnti, possiamo intuire qualcosa del pieno significato di un concetto generale come quello di misura; mentre questo non avviene se consideriamo soltanto i significati moderni più specializzati, che sono stati sviluppati in varie forme di analisi scientifica, matematica e filosofica.

4. La struttura come sviluppo basato su ordine e misura

Il concetto di misura nel senso ampio indicato sopra 'collabora' con quello di ordine. Così, come si vede dalla figura 5.4, ogni ordine lineare interno a un triangolo (come la linea *FG*) è limitato (cioè misurato) dalle linee *AB*, *BC* e *CA*. Ciascuna di queste linee è in se stessa un ordine di segmenti, limitato (cioè misurato) da altre linee. La forma del triangolo è allora descritta da certe proporzioni fra i lati (lunghezze relative).

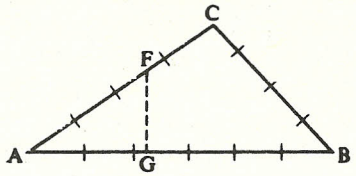

Figura 5.4

Esaminando la collaborazione di ordine e misura in contesti sempre più ampi e più complessi siamo portati a considerare il concetto di *struttura*. Come indica la radice latina della parola, *struere*, il significato essenziale di struttura è 'costruire, crescere, evolversi'. La parola 'struttura' viene oggi trattata come un sostantivo, ma il suffisso latino *-ura* in origine indicava 'l'azione di fare una certa cosa'. Quindi, per sottolineare il fatto che non ci riferiamo soprattutto a un prodotto finito o a un risultato finale, possiamo introdurre un nuovo verbo, *struttare*, che significa 'creare e dissolvere quelle che oggi si chiamano strutture'.

La struttazione va evidentemente descritta e compresa in termini di ordine e misura. Per esempio, consideriamo la struttazione (costruzione) di una casa. I mattoni sono disposti con un certo ordine e con una certa misura (cioè entro certi limiti) per formare un muro. I muri sono similmente ordinati e misurati per formare una stanza, le stanze per formare una casa, le case per formare una città, e così via.

La struttazione perciò implica una totalità *armoniosamente organizzata* di ordini e misure, che è sia gerarchica (cioè a molti livelli) sia *estensiva* (cioè tale da espandersi a ciascun livello). La radice greca della parola 'organizzare' è *ergon*, basata su un verbo che significa 'lavorare'. Perciò possiamo pensare che tutti gli aspetti di una struttura 'collaborino' fra loro in modo coerente.

Evidentemente questo principio di struttura è universale. Per esempio, gli esseri viventi sono in un continuo movimento di crescita ed evoluzione strutturale altamente organizzato (per esempio, le molecole collaborano a formare le cellule, le cellule a formare gli organi, gli organi a formare l'individuo vivente, gli individui a formare una società, e così via). Analogamente, in fisica descriviamo la materia come costituita da particelle in movimento (per esempio, atomi), che collaborano a formare strutture solide, liquide o gassose, le quali a loro volta collaborano a formare strutture più grandi, su su fino ai pianeti, alle stelle, alle galassie, agli ammassi di galassie, e così via. Qui è importante sottolineare la natura *essenzialmente dinamica* della struttazione, nella natura inanimata, negli esseri viventi, nella società, nella comunicazione umana, eccetera (per esempio, la struttura di un linguaggio è una totalità organizzata in continuo e fluido movimento). I tipi di struttura che possono evolversi e crescere (o che possono essere costruiti) sono evidentemente limitati dal loro sottostante insieme di ordine e misura.

Un nuovo ordine e una nuova misura rendono possibili nuovi tipi di struttura. Un semplice esempio di ciò è fornito dalla musica. Le strutture musicali con cui possiamo lavorare dipendono dall'ordine delle note e da certe misure (la scala, il ritmo, il tempo, eccetera). Cambiare quest'ordine e queste misure evidentemente rende possibile la creazione di nuove strutture musicali. Nei rimanenti paragrafi di questo capitolo esamineremo come nuovi ordini e misure in fisica possano analogamente permetterci di immaginare nuove strutture fisiche.

5. Ordine, misura e struttura nella fisica classica

Come abbiamo già accennato, la fisica classica comporta un certo ordine e una certa misura descrittivi fondamentali. Essi possono essere caratterizzati dall'uso di coordinate cartesiane e da un ordine universale e assoluto del tempo, indipendente da quello dello spazio. Questo approccio implica inoltre il carattere assoluto di quelli che possiamo chiamare ordine e misura *euclidei* (vale a dire quelli caratteristici della geometria euclidea). Con questo ordine e questa misura sono possibili certe strutture, il cui elemento costitutivo è essenzialmente il corpo quasi rigido. La caratteristica generale della struttura classica è proprio l'analizzabilità di tutto quanto in parti separate, che sono concepite come piccoli corpi quasi rigidi o come la loro idealizzazione ultima sotto forma di particelle puntiformi. Come abbiamo già detto, queste parti funzionano insieme interagendo (come le parti di una macchina).

Le leggi della fisica allora esprimono la ragione o il rapporto nel movimento di tutte le parti, nel senso che mettono in rapporto il moto di ciascuna parte con la configurazione di tutte le altre. Queste leggi sono di forma deterministica, in quanto i soli dati contingenti di un sistema sono le posizioni e le velocità iniziali di tutte le sue parti. E sono *causali*, in quanto ogni perturbazione esterna può essere

trattata come una *causa* che produce un *effetto* specificabile, che può in linea di principio propagarsi a ogni parte del sistema.

Con la scoperta dei moti browniani si incontrò un fenomeno che *a prima vista* sembrava mettere in discussione l'intero schema classico di ordine e misura, perché questi moti presentano quello che qui abbiamo chiamato un 'ordine di grado illimitato', non determinato da pochi passi (per esempio, dalle posizioni e velocità iniziali). I moti browniani furono spiegati tuttavia in termini di urti molto complessi di particelle più piccole o di campi casualmente fluttuanti. Si suppose che, prendendo in considerazione questi ulteriori campi e particelle, la legge del moto complessiva potesse essere ricondotta a una forma deterministica. In questo modo i concetti classici di ordine e misura furono *adattati* in modo da *includere* i moti browniani, che sembrerebbero, almeno a prima vista, richiedere una descrizione in termini di un ordine e di una misura molto diversi.

Questo adattamento dipende evidentemente da una supposizione. Infatti, anche se possiamo ricondurre alcuni tipi di moto browniano (per esempio, quello delle particelle di fumo) agli urti di particelle più piccole (atomi), questo non dimostra che le leggi del moto siano in ultima analisi di tipo deterministico classico. È sempre possibile supporre che fondamentalmente tutti i moti vadano descritti *fin* dall'inizio come moti browniani e che le traiettorie apparentemente continue dei corpi grandi, come i pianeti, siano solo approssimazioni di una traiettoria effettiva di tipo browniano. In effetti, alcuni matematici (particolarmente Wiener) hanno lavorato sia implicitamente sia esplicitamente in termini del moto browniano come descrizione fondamentale (non spiegato come effetto dell'impatto di particelle più piccole)[2]. Tale idea corrisponde all'introduzione di un nuovo tipo di ordine e misura. Se fosse sviluppata seriamente, comporterebbe un cambiamento delle strutture possibili forse altrettanto grande di quello conseguente al passaggio dagli epicicli tolemaici alle equazioni del moto newtoniane. In realtà questa linea di pensiero non fu seriamente sviluppata nella fisica classica. Ma, come vedremo, può essere utile dedicarle un po' di attenzione per esaminare sotto una luce nuova i possibili limiti della teoria

della relatività, nonché il rapporto fra relatività e teoria quantistica.

6. La teoria della relatività

Uno dei primi veri punti di rottura dei concetti classici di ordine e misura fu rappresentato dalla teoria della relatività. È significativo notare che le origini della teoria si possono probabilmente ricondurre a una domanda che Einstein si fece all'età di quindici anni: «Che cosa succederebbe se, muovendosi alla velocità della luce, uno si guardasse in uno specchio?» Evidentemente non vedrebbe nulla, perché la luce proveniente dalla sua faccia non raggiungerebbe mai lo specchio. Questo paradosso indusse Einstein a pensare che la luce fosse in qualche modo fondamentalmente diversa da tutte le altre forme di movimento.

Dal nostro punto di vista più moderno, possiamo sottolineare ulteriormente questa differenza considerando la struttura atomica della materia di cui siamo costituiti. Se ci muovessimo più veloci della luce, un semplice calcolo mostra che i campi elettromagnetici che tengono insieme i nostri atomi resterebbero indietro (come le onde acustiche prodotte da un aeroplano che viaggia a velocità ultrasonica). Di conseguenza i nostri atomi si dissolverebbero e noi con essi. Perciò non ha senso immaginare di poter viaggiare a velocità superiore a quella della luce.

Ora, una caratteristica fondamentale dell'ordine e della misura di Galileo e Newton è la possibilità in linea di principio di raggiungere e superare qualsiasi velocità finita. Tuttavia, come abbiamo detto, immaginare di poter raggiungere e superare la luce porta a conseguenze assurde.

Questa percezione della luce come diversa dalle altre forme di movimento è simile alla percezione di Galileo che le leggi della fisica si esprimono diversamente nello spazio vuoto e in un mezzo viscoso. Nel caso di Einstein, la differenza sta nel fatto che la velocità della luce non è una velocità raggiungibile da un oggetto materiale. È piuttosto come un orizzonte, che non può mai essere raggiunto. Anche se ci muoviamo verso l'orizzonte, non ci avviciniamo mai ad esso. Così, anche se inseguiamo un raggio luminoso, non ci

avviciniamo mai alla sua velocità. La sua velocità rispetto a noi resta sempre la stessa, *c*.

La relatività introduce nuovi concetti di ordine e misura del tempo. Essi non sono più *assoluti*, come nella teoria newtoniana, bensì *relativi* alla velocità del sistema di coordinate. Questa relatività del tempo è una delle caratteristiche radicalmente nuove della teoria di Einstein.

L'espressione del nuovo ordine e della nuova misura del tempo nella teoria relativistica comporta un cambiamento di linguaggio molto significativo. La velocità della luce non viene più considerata una possibile velocità di un *oggetto*, bensì la massima velocità di propagazione di un *segnale*. Fino a questo punto il concetto di segnale non aveva avuto alcun ruolo nell'ordine generale sottostante alla descrizione fisica; in questo contesto esso assume invece un ruolo cruciale.

La parola 'segnale' contiene la parola 'segno', che significa 'indicare qualcosa', oltre ad 'avere significato'. Un segnale è in effetti un tipo di *comunicazione*. Perciò, in un certo modo, il significato e la comunicazione divennero rilevanti nell'ordine descrittivo generale della fisica (così come l'informazione, che tuttavia è solo una *parte* del contenuto o significato di una comunicazione). Forse non sono state ancora comprese tutte le implicazioni di questo fatto, di come cioè siano stati tacitamente introdotti nel quadro descrittivo generale della fisica certi concetti d'ordine sottili che vanno molto al di là di quelle della meccanica classica.

I nuovi concetti di ordine e misura introdotti dalla teoria della relatività implicano un nuovo concetto di struttura, in cui l'idea di corpo rigido non può più svolgere una funzione centrale. Nella relatività non è più possibile definire coerentemente un corpo rigido esteso, perché ciò comporterebbe l'esistenza di segnali più veloci della luce. Cercando di includere questa nuova caratteristica della relatività nei vecchi concetti di struttura, i fisici sono stati portati a concepire le particelle come punti privi di estensione; ma, come è noto, questo tentativo non ha dato risultati generalmente soddisfacenti per via dei campi infiniti impliciti nell'idea di particella puntiforme. In effetti la relatività implica che né le particelle puntiformi né i corpi quasi rigidi

possono essere assunti come concetti primari. Questi ultimi devono invece essere espressi in termini di *eventi* e *processi*.

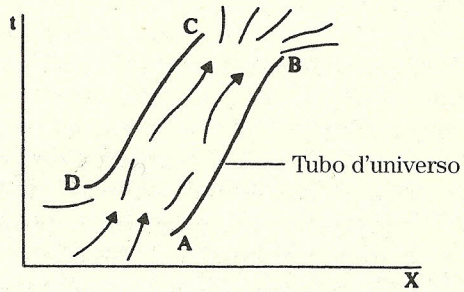

Figura 5.5

Per esempio, ogni struttura localizzabile può essere descritta come un *tubo d'universo* (fig. 5.5). All'interno di questo tubo *ABCD* avviene un processo complesso, rappresentato dalle molte linee che lo percorrono. Non è possibile analizzare coerentemente il movimento all'interno del tubo in termini di 'particelle più piccole', perché anch'esse devono essere descritte come tubi d'universo, e così via *ad infinitum*. Inoltre ogni tubo nasce da uno sfondo o contesto più ampio, com'è indicato dalle linee che precedono *AD*, e alla fine si dissolve di nuovo nello sfondo, com'è indicato dalle linee che seguono *BC*. Perciò 'l'oggetto' è una forma relativamente invariante che viene astratta da questo contesto. Vale a dire che è più una forma del movimento che una cosa solida e separata, esistente autonomamente e permanentemente[3].

Tuttavia, il problema di descrivere in modo coerente un tubo d'universo cosiffatto non è stato ancora risolto. Einstein cercò molto seriamente di ottenere una descrizione coerente in termini di una teoria unitaria dei campi. Egli assunse il campo complessivo dell'intero universo come descrizione primaria. Questo campo è continuo ed indivisibile. Le particelle vanno allora concepite come certi tipi di astrazioni in seno al campo totale, corrispondenti a regioni dove il campo è molto intenso (dette singolarità).

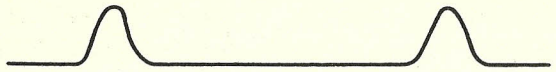

Figura 5.6

Man mano che ci allontaniamo dalla singolarità il campo si affievolisce, fino a fondersi impercettibilmente con il campo di altre singolarità (fig. 5.6), ma in nessun punto c'è una frattura o divisione. Perciò l'idea classica di un mondo separabile in parti distinte interagenti non è più valido o rilevante. Dobbiamo invece considerare l'universo come *un tutto indiviso e senza fratture*. La suddivisione in particelle, o in particelle e campi, è solo una rozza astrazione e approssimazione. Giungiamo così a un ordine radicalmente diverso da quello di Galileo e di Newton: l'ordine della *totalità indivisa*.

Nel formulare la sua descrizione in termini di un campo unificato, Einstein sviluppò la *teoria della relatività generale*. Questa teoria comportava un certo numero di nuovi concetti di ordine. Einstein considerò insiemi arbitrari di *curve continue* come coordinate permissibili, adottando quindi *un ordine e una misura curvilinei* anziché *rettilinei* (benché, ovviamente, queste curve continue sono localmente approssimate da rette su distanze sufficientemente brevi). Grazie al principio di equivalenza fra gravità e accelerazione, attraverso i simboli di Christoffel $\Gamma^a{}_{bc}$ che descrivono matematicamente la curvatura locale delle coordinate, Einstein mise in rapporto ordine e misura curvilinei con il *campo gravitazionale*. Questa relazione richiese l'introduzione di *equazioni nonlineari*, cioè di equazioni le cui soluzioni non si possono semplicemente sommare insieme ottenendo nuove soluzioni. Questo carattere nonlineare delle equazioni è di cruciale importanza, non solo perché in linea di principio apre la possibilità di soluzioni con quelle singolarità stabili di tipo particella a cui abbiamo accennato sopra (che invece sono impossibili nelle equazioni lineari), ma anche perché ha implicazioni importanti per la questione dell'*analisi* del mondo in componenti distinte e interagenti.

Prima di discutere questo tema, è bene notare che la parola 'analisi' ha la radice greca *lysis*, che significa 'rompere' o 'dissolvere'. Un chimico, per esempio, può dissolvere un composto nei suoi costituenti elementari e poi può rimetterli insieme, riproducendo il composto per *sintesi*. Le parole 'analisi' e 'sintesi', tuttavia, sono venute a indicare non soltanto effettive operazioni fisiche o chimiche sulle *cose*, ma anche analoghe operazioni eseguite con il *pensiero*. Così possiamo dire, per esempio, che la fisica classica rappresenta un'*analisi concettuale* del mondo in parti costituenti (come atomi o particelle elementari), che vengono poi concettualmente rimesse insieme attraverso le loro interazioni, 'ricreando per sintesi' il sistema complessivo.

Queste parti possono essere spazialmente separate (come nel caso degli atomi); ma possono corrispondere anche a concetti più astratti che non comportano una separazione spaziale. Per esempio, in un campo che soddisfa un'equazione lineare è possibile scegliere un insieme di 'modi normali' del campo e considerare ciascuno di essi come un moto indipendente da tutti gli altri. Possiamo allora *pensare* analiticamente ogni possibile moto ondulatorio del campo come costituito da una somma di tali 'modi normali' indipendenti. In una certa approssimazione questa analisi del campo in 'modi normali' è possibile anche quando il campo soddisfa un'equazione nonlineare: ma in questo caso i 'modi normali' risultano mutualmente dipendenti attraverso una certa interazione. Inoltre, questo tipo di 'analisi e sintesi' ha una validità limitata, perché in generale le soluzioni delle equazioni nonlineari hanno proprietà che non possono essere espresse in questi termini (matematicamente si può dire, per esempio, che l'analisi implica delle serie che non sempre convergono). In effetti le equazioni nonlineari della teoria unitaria dei campi sono in generale di questo tipo. Perciò non solo l'idea di analisi in termini di oggetti spazialmente separati è irrilevante nel contesto di teorie di questo tipo, ma lo è anche l'analisi in costituenti più astratti, non considerati come spazialmente separati.

È importante qui sottolineare la differenza fra analisi e *descrizione*. La parola 'de-scrivere' significa letteralmente 'scrivere giù'. Ma quando 'scriviamo' le cose, ciò non significa che i termini che compaiono nella nostra descrizione possano essere 'separati' in componenti autonome e poi

rimessi insieme in una sintesi. Anzi, in generale questi termini sono solo delle astrazioni che hanno ben poco significato quando sono presi separatamente e autonomamente l'uno dall'altro. Ciò che è primariamente rilevante in una descrizione è il modo in cui i termini sono *in relazione* fra loro attraverso un rapporto o una ragione. Questo rapporto o questa ragione, che indirizzano l'attenzione verso il tutto, costituiscono il significato della descrizione.

Perciò, anche concettualmente, una descrizione non costituisce in generale un'analisi. Un'analisi concettuale rappresenta un *tipo speciale* di descrizione, in cui possiamo pensare una certa cosa come suddivisa in parti che si comportano autonomamente e che vengono poi rimesse insieme tramite le loro interazioni. Queste descrizioni analitiche erano in generale adeguate per la fisica di Galileo e di Newton, ma, come abbiamo visto, non lo sono per la fisica di Einstein.

Einstein fece un tentativo molto promettente di percorrere questa nuova direzione di pensiero fisico, ma non riuscì mai ad arrivare a una teoria coerente e soddisfacente che partisse dal concetto di campo unificato. I fisici si ritrovarono dunque con il problema di cercare di adattare il vecchio concetto di analisi del mondo in particelle puntiformi al contesto della relatività, in cui tale analisi non è veramente appropriata e coerente.

Può essere utile qui esaminare certe possibili inadeguatezze dell'approccio di Einstein, benché ovviamente solo a un livello molto preliminare. Ricordiamo che nel 1905 Eistein scrisse tre articoli fondamentali: uno sulla teoria della relatività, uno sul quanto di luce (sull'effetto fotoelettrico) e uno sul moto browniano. Uno studio dettagliato di questi tre lavori mostra che essi sono intimamente connessi in vari modi; e ciò suggerisce che in questa fase del suo pensiero Einstein considerasse, almeno implicitamente, questi tre temi come aspetti di un'unità più ampia. Lo sviluppo della relatività generale, tuttavia, spostò l'accento del suo pensiero molto nettamente sulla *continuità dei campi*. Gli altri due temi (il moto browniano e le proprietà quantistiche della luce), che comportavano delle discontinuità non in armonia con il concetto di campo continuo, recedettero in secondo piano e, con il tempo, furono da lui più o

meno abbandonati, almeno nel contesto della relatività generale.

Consideriamo in primo luogo il moto browniano, che è in verità molto difficile da descrivere in modo relativisticamente invariante. Comportando 'velocità istantanee' infinite, il moto browniano non può rispettare il limite della velocità della luce. In compenso, tuttavia, esso non può essere portatore di un segnale, perché un segnale è una modulazione *ordinata* di un 'veicolo'. L'ordine della modulazione non è separabile dal *significato* del segnale: cambiare l'ordine equivale a cambiare il significato. Perciò possiamo correttamente parlare di propagazione di un segnale solo in contesti in cui il movimento del 'veicolo' è tanto regolare e continuo da non perturbare l'ordine della modulazione. L'ordine del moto browniano invece è di grado tanto elevato (cioè il moto è tanto 'casuale', secondo l'uso ordinario del linguaggio) che il significato di un segnale non resta inalterato nel corso della sua propagazione. Perciò non c'è ragione per cui una curva browniana con ordine di grado infinito non possa essere un elemento di una descrizione fondamentale del movimento, se la sua velocità media non supera quella della luce. Può darsi che la teoria della relatività sia rilevante per la *velocità media* di un moto browniano (che può essere portatrice di un segnale), ma non per il contesto più ampio di una legge fondamentale espressa in termini di curve browniane con un ordine di grado infinitamente alto, anziché di curve continue di basso grado. Sviluppare una teoria cosiffatta implicherebbe evidentemente nuovi concetti di ordine e misura in fisica (che andrebbero al di là delle idee sia di Newton sia di Einstein) e porterebbe a corrispondenti nuove strutture.

L'esame di questi concetti può forse suggerire qualcosa di nuovo e di rilevante. Ma, prima di spingerci oltre in questa ricerca, è meglio prendere in considerazione la teoria quantistica, che è per molti versi ancora più significativa in questo contesto del moto browniano.

7. La teoria quantistica

La teoria quantistica comporta un cambiamento nei con-

cetti di ordine e misura ancora più radicale di quello introdotto dalla relatività. Per capire questo cambiamento dobbiamo prendere in considerazione quattro caratteristiche nuove di fondamentale significato introdotte dalla teoria quantistica.

7.1 Indivisibilità del quanto d'azione
Questa indivisibilità implica che le transizioni fra stati stazionari del sistema siano in un certo senso discrete. Perciò non ha senso dire che il sistema passa attraverso una serie continua di stati intermedi, simili allo stato iniziale e finale. Questo è, naturalmente, molto diverso dalla fisica classica, in cui esiste sempre una serie continua di stati intermedi in ogni transizione.

7.2 Dualismo onda-particella
In varie condizioni sperimentali la materia si comporta prevalentemente come onda o prevalentemente come particella, ma sempre per certi versi come tutt'e due le cose insieme.

7.3 Proprietà della materia come potenzialità statistiche
Ogni situazione fisica viene a essere caratterizzata da una funzione d'onda (o più astrattamente da un vettore in uno spazio di Hilbert). Questa funzione d'onda non è direttamente legata alle proprietà *effettive* di un singolo oggetto, evento o processo. Essa va piuttosto concepita come una descrizione delle *potenzialità* contenute nella situazione fisica[4]. Potenzialità diverse e in generale fra loro incompatibili (per esempio, legate al comportamento della materia come onda o come particella) sono realizzate da disposizioni sperimentali diverse. (Il dualismo onda-particella può perciò essere compreso come una delle forme principali di tali potenzialità incompatibili.) In generale la funzione d'onda fornisce solo una *misura probabilistica* della realizzazione delle varie potenzialità in un insieme statistico di osservazioni simili eseguite in determinate condizioni e non è in grado di predire in dettaglio che cosa succederà in ciascuna singola osservazione.

Questa concetto di determinazione statistica di potenzialità mutualmente incompatibili è evidentemente molto diverso da ciò che avviene nella fisica classica, dove il concetto di potenzialità non ha un ruolo fondamentale. Nella fisica classica si ritiene che solo lo *stato effettivo* di un sistema sia rilevante in una data situazione fisica e che la probabilità intervenga solo perché ignoriamo lo stato effettivo del sistema o perché ci interessa la media di un insieme statistico di stati effettivi distribuiti su tutto un campo di condizioni diverse. Nella teoria quantistica invece non ha senso parlare di stato effettivo di un sistema indipendentemente dall'insieme di condizioni sperimentali necessarie per realizzare questo stato.

7.4 Correlazioni acausali (paradosso di Einstein, Podolsky e Rosen)
Si deduce dalla teoria quantistica che eventi spazialmente separati e senza alcuna possibilità di interazione sono comunque fra loro correlati in un modo che non ammette una spiegazione causale in termini di effetti che si propaghino con velocità non superiore a quella della luce[5]. Perciò la teoria quantistica non è compatibile con l'approccio fondamentale di Einstein alla relatività, in cui è essenziale che tali correlazioni siano interpretabili in termini di segnali che viaggiano a velocità non superiore a quella della luce.

Tutte queste caratteristiche evidentemente implicano una rottura con l'ordine generale di descrizione prevalente prima dell'avvento della teoria quantistica. I limiti di quest'ordine 'pre-quantistico' emergono molto chiaramente alla luce delle relazioni di indeterminazione, che vengono spesso illustrate per mezzo del famoso esperimento del microscopio di Heisenberg.

Discuteremo ora questo esperimento in una forma un po' diversa da quella usata da Heisenberg, per mettere in evidenza certi punti nuovi. Il nostro primo passo consiste nell'esaminare che cosa significhi fare una misura *classica* della posizione e della quantità di moto. Ci serviremo in questa misura di un microscopio *elettronico*, anziché di un microscopio *ottico*.

cetti di ordine e misura ancora più radicale di quello introdotto dalla relatività. Per capire questo cambiamento dobbiamo prendere in considerazione quattro caratteristiche nuove di fondamentale significato introdotte dalla teoria quantistica.

7.1 Indivisibilità del quanto d'azione
Questa indivisibilità implica che le transizioni fra stati stazionari del sistema siano in un certo senso discrete. Perciò non ha senso dire che il sistema passa attraverso una serie continua di stati intermedi, simili allo stato iniziale e finale. Questo è, naturalmente, molto diverso dalla fisica classica, in cui esiste sempre una serie continua di stati intermedi in ogni transizione.

7.2 Dualismo onda-particella
In varie condizioni sperimentali la materia si comporta prevalentemente come onda o prevalentemente come particella, ma sempre per certi versi come tutt'e due le cose insieme.

7.3 Proprietà della materia come potenzialità statistiche
Ogni situazione fisica viene a essere caratterizzata da una funzione d'onda (o più astrattamente da un vettore in uno spazio di Hilbert). Questa funzione d'onda non è direttamente legata alle proprietà *effettive* di un singolo oggetto, evento o processo. Essa va piuttosto concepita come una descrizione delle *potenzialità* contenute nella situazione fisica[4]. Potenzialità diverse e in generale fra loro incompatibili (per esempio, legate al comportamento della materia come onda o come particella) sono realizzate da disposizioni sperimentali diverse. (Il dualismo onda-particella può perciò essere compreso come una delle forme principali di tali potenzialità incompatibili.) In generale la funzione d'onda fornisce solo una *misura probabilistica* della realizzazione delle varie potenzialità in un insieme statistico di osservazioni simili eseguite in determinate condizioni e non è in grado di predire in dettaglio che cosa succederà in ciascuna singola osservazione.

Questa concetto di determinazione statistica di potenzialità mutualmente incompatibili è evidentemente molto diverso da ciò che avviene nella fisica classica, dove il concetto di potenzialità non ha un ruolo fondamentale. Nella fisica classica si ritiene che solo lo *stato effettivo* di un sistema sia rilevante in una data situazione fisica e che la probabilità intervenga solo perché ignoriamo lo stato effettivo del sistema o perché ci interessa la media di un insieme statistico di stati effettivi distribuiti su tutto un campo di condizioni diverse. Nella teoria quantistica invece non ha senso parlare di stato effettivo di un sistema indipendentemente dall'insieme di condizioni sperimentali necessarie per realizzare questo stato.

7.4 Correlazioni acausali (paradosso di Einstein, Podolsky e Rosen)
Si deduce dalla teoria quantistica che eventi spazialmente separati e senza alcuna possibilità di interazione sono comunque fra loro correlati in un modo che non ammette una spiegazione causale in termini di effetti che si propaghino con velocità non superiore a quella della luce[5]. Perciò la teoria quantistica non è compatibile con l'approccio fondamentale di Einstein alla relatività, in cui è essenziale che tali correlazioni siano interpretabili in termini di segnali che viaggiano a velocità non superiore a quella della luce.

Tutte queste caratteristiche evidentemente implicano una rottura con l'ordine generale di descrizione prevalente prima dell'avvento della teoria quantistica. I limiti di quest'ordine 'pre-quantistico' emergono molto chiaramente alla luce delle relazioni di indeterminazione, che vengono spesso illustrate per mezzo del famoso esperimento del microscopio di Heisenberg.

Discuteremo ora questo esperimento in una forma un po' diversa da quella usata da Heisenberg, per mettere in evidenza certi punti nuovi. Il nostro primo passo consiste nell'esaminare che cosa significhi fare una misura *classica* della posizione e della quantità di moto. Ci serviremo in questa misura di un microscopio *elettronico*, anziché di un microscopio *ottico*.

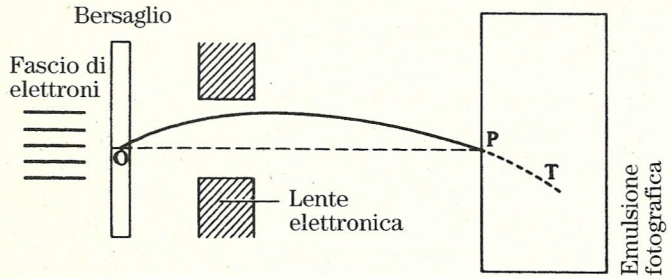

Figura 5.7

Come si vede nella figura 5.7, nel punto *O* del bersaglio c'è una 'particella osservata', che supponiamo inizialmente abbia una quantità di moto nota (per esempio può essere a riposo, con quantità di moto nulla). Degli elettroni di energia nota incidono sul bersaglio e uno di essi viene deflesso dalla particella situata in *O*. L'elettrone attraversa la lente elettronica, seguendo un'orbita che lo porta nel punto focale *P*, dove penetra nell'emulsione fotografica, lasciando una traccia *T* in una certa direzione.

I *risultati direttamente osservabili* dell'esperimento sono la posizione *P* e la direzione della traccia *T*, che naturalmente in se stessi non sono particolarmente interessanti. Solo conoscendo la situazione sperimentale complessiva (cioè la struttura del microscopio, il bersaglio, l'energia del fascio di elettroni incidente, eccetera) questi risultati diventano significativi per un'indagine fisica. Disponendo di una descrizione adeguata della situazione sperimentale, dai risultati possiamo trarre certe deduzioni relative alla posizione della 'particella osservata' in *O* e alla quantità di moto scambiata nell'urto con l'elettrone incidente. Perciò, malgrado il funzionamento dello strumento influisca sulla particella osservata, possiamo tener conto di questa influenza e perciò 'conoscere' sia la posizione sia la quantità di moto della particella nel momento in cui ha deflesso l'elettrone incidente.

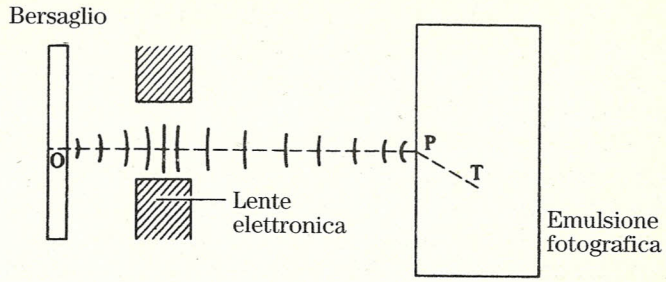

Figura 5.8

Tutto questo è abbastanza semplice nel contesto della fisica classica. La novità introdotta da Heisenberg consiste nel considerare il carattere quantistico dell'elettrone che fornisce il legame fra i *risultati sperimentali* e *ciò che si deve dedurre da tali risultati*. L'elettrone non è più descrivibile come una particella classica, bensì ha anche le proprietà di un'onda, come illustrato nella figura 5.8. L'onda elettronica incide sul bersaglio e viene diffratta dalla particella situata in *O*. Poi attraversa la lente, dove viene diffratta nuovamente e focalizzata sull'emulsione fotografica nel punto *P*, da cui parte una traccia *T* (proprio come nella descrizione classica).

Evidentemente in questa descrizione Heisenberg ha messo in gioco le quattro significative caratteristiche della teoria quantistica a cui abbiamo accennato all'inizio di questo paragrafo. Come nelle esperienze di interferenza, egli descrive l'elettrone 'legame' *sia* come un'onda (quando viene diffratto dall'oggetto *O*, attraversa la lente e raggiunge il punto immagine *P*), *sia* come una particella (che colpisce la lastra fotografica in un punto *P* ben preciso e lascia una traccia *T*). La cessione di quantità di moto alla 'particella osservata' in *O* va trattata come discreta e fatta di quanti indivisibili. Fra il punto *O* e il punto *P* la più dettagliata descrizione possibile dell'elettrone è fornita da una funzione d'onda che determina solo una distribuzione statistica di potenzialità, la cui realizzazione dipende dalle condizioni sperimentali (per esempio, dalla presenza di atomi sensibili nell'emulsione che possono rivelare il passaggio dell'elettro-

ne). Infine, i risultati effettivi della misura (il punto *P* e la traccia *T*) e le proprietà della particella in *O* sono fra loro correlati nella maniera non causale a cui abbiamo accennato.

Servendosi di tutte queste caratteristiche fondamentali della teoria quantistica nel descrivere l'elettrone 'legame', Heisenberg dimostrò che la precisione di ciò che si può dedurre a proposito dell'oggetto osservato ha un limite, espresso dalle relazioni di indeterminazione $\Delta x \cdot \Delta p \geqslant h$. Dapprima Heisenberg spiegò questa indeterminazione come effetto dell'incertezza nella traiettoria effettiva dell'elettrone legame fra *O* e *P*, incertezza che comporta anche un'incertezza nella 'perturbazione' dell'atomo in *O* dovuta alla collisione. Ma Bohr discusse l'intera situazione in modo relativamente completo e coerente[6], mostrando che le quattro caratteristiche fondamentali della teoria quantistica sopra citate non sono compatibili con una descrizione in termini di una traiettoria ben precisa di cui noi abbiamo una conoscenza incerta. Ci troviamo perciò di fronte a una situazione interamente nuova in fisica, in cui il concetto di una traiettoria ben definita non ha più alcun significato. Possiamo forse dire piuttosto che il rapporto fra *O* e *P* attraverso l'elettrone 'legame' è più simile a un 'salto quantico' fra stati stazionari, indivisibile e non analizzabile, che al movimento continuo, benché imprecisamente conosciuto, di una particella nello spazio compreso fra il punto *O* e il punto *P*.

Qual è allora il significato della descrizione che abbiamo appena fatta dell'esperimento di Heisenberg? Evidentemente l'esperimento può essere coerentemente descritto in questo modo solo in un contesto in cui si applica la fisica classica. La discussione dell'esperimento in questi termini serve perciò tutt'al più a mettere in evidenza i *limiti di rilevanza* dei modi di descrizione classici, ma non è in grado di fornire effettivamente una descrizione coerente in un contesto quantistico.

Ma anche quando la si considera in questo modo, la discussione abituale dell'esperimento trascura certi punti chiave, che hanno un significato profondo e ricco di conseguenze. Per mettere in luce questi punti, osserviamo che, in una data situazione sperimentale determinata dalla struttura del microscopio e così via, potremmo dire in un certo senso che i limiti di applicabilità della descrizione classica siano rappresentati da una certa cella nello spazio delle fasi dell'oggetto osservato, indicata con *A* nella figura 5.9.

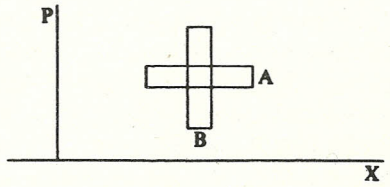

Figura 5.9

Se ci fosse stata una diversa situazione sperimentale (per esempio, un microscopio con una diversa apertura, elettroni con una diversa energia, eccetera), questi limiti sarebbero stati rappresentati da un'altra cella nello spazio delle fasi, indicata con *B* nella figura. Heisenberg ha sottolineato il fatto che entrambe le celle hanno la stessa superficie *h*, ma non ha preso in considerazione il significato del fatto che la loro 'forma' è diversa.

Naturalmente nel contesto della fisica classica, dove quantità dell'ordine della costante di Planck *h* sono trascurabili, le celle possono essere sostituite da punti senza dimensioni, perciò la loro 'forma' non ha significato. Si può allora dire che i risultati sperimentali non facciano altro che permetterci di trarre inferenze sull'oggetto osservato, inferenze in cui le 'forme' delle celle, e perciò i dettagli della situazione sperimentale, hanno solo la funzione di passaggi intermedi in una catena di ragionamento, che scompaiono nei risultati finali dedotti. Ciò significa che si può coerentemente dire che l'oggetto osservato esista separatamente e indipendentemente dall'apparecchio di misura, nel senso che ha certe proprietà, sia che interagisca con qualcos'altro (per esempio con l'apparecchio di misura) oppure no.

Ma nel contesto quantistico la situazione è molto diversa. Qui la 'forma' delle celle resta rilevante e costituisce una parte essenziale della descrizione della particella osservata. Quest'ultima perciò può essere descritta correttamente

solo congiuntamente alla situazione sperimentale. Se ci si addentra in una trattazione matematica più dettagliata in base alle leggi della teoria quantistica, si vede che la 'funzione d'onda' della 'particella osservata' non può essere specificata indipendentemente da quella dell'elettrone 'legame', la quale a sua volta richiede una descrizione dell'intera situazione sperimentale (cosicché la relazione fra la particella e i risultati osservati è un esempio di correlazione del tipo indicato da Einstein, Podolsky e Rosen, non spiegabile in termini di propagazione di segnali come catene di influenze causali). Questo significa che la descrizione della situazione sperimentale non scompare come un puro e semplice passaggio intermedio, bensì resta inseparabile dalla descrizione del cosiddetto oggetto osservato. Il contesto quantistico perciò richiede un nuovo tipo di descrizione, che non comporta la separabilità di 'oggetto osservato' e 'apparecchio di misura'. La forma della situazione sperimentale e il significato dei risultati sperimentali rappresentano invece un'unità, una totalità, in cui l'analisi in elementi autonomamente esistenti non è più rilevante.

Che cosa significhi qui 'unità', 'totalità', può essere indicato metaforicamente considerando un disegno (per esempio, il disegno di un tappeto). Nella misura in cui ciò che è rilevante *è* il disegno, non ha senso considerare le varie parti del disegno (per esempio, fiori e alberi che si possono distinguere nel tappeto) come oggetti separati fra loro interagenti.

Analogamente, nel contesto quantistico possiamo considerare termini come 'oggetto osservato', 'apparecchio di misura', 'elettrone legame', 'risultati sperimentali', eccetera, come aspetti di un unico disegno globale, aspetti che il nostro modo di descrizione astrae, 'tira fuori', 'sottolinea'. Perciò non ha senso parlare di interazione fra 'oggetto osservato' e 'apparecchio di misura'.

Un cambiamento di fondamentale importanza nell'ordine descrittivo richiesto dalla teoria quantistica consiste perciò nel lasciar cadere il concetto di analisi del mondo in parti relativamente autonome, esistenti separatamente e fra loro interagenti. La descrizione fondamentale è ora in termini di *totalità indivisa*, in cui l'apparecchio di misura non è separabile dal sistema osservato.

Benché la teoria quantistica sia molto diversa dalla relatività, in un senso profondo esse sono accomunate da questa implicazione di una totalità indivisa. In relatività una descrizione coerente dell'apparecchio di misura dovrebbe essere in termini di una struttura di singolarità del campo, corrispondenti a quelli che oggi si chiamano in genere 'gli atomi che costituiscono l'apparecchio di misura'. Il campo di queste singolarità si fonde con quello delle singolarità che costituiscono il 'sistema osservato' (e anche con quello delle singolarità corrispondenti agli 'atomi di cui è fatto l'osservatore umano'). È questo un diverso tipo di totalità rispetto a quello implicito nella teoria quantistica, ma è simile nel senso che anche qui non è possibile in senso ultimo tracciare una divisione fra apparecchio di misura e oggetto osservato.

Malgrado questa profonda somiglianza, non è stato possibile unificare la relatività e la teoria quantistica in modo coerente. Una delle ragioni principali è il fatto che, non essendo possibile introdurre coerentemente strutture estese nella teoria della relatività, le particelle vanno trattate come punti senza estensione. Questo porta a risultati infiniti nei calcoli della teoria quantistica dei campi. Con vari algoritmi formali (per esempio rinormalizzazione, matrice S, eccetera) si possono estrarre dalla teoria certi risultati finiti ed essenzialmente corretti.

Tuttavia fondamentalmente la teoria resta insoddisfacente, non solo perché contiene alcuni aspetti che sembrano seriamente contradditori, ma anche perché ha un certo numero di caratteristiche arbitrarie, che permettono un'indefinita adattabilità ai fatti, un po' come gli epicicli tolemaici potevano adattarsi quasi a ogni dato sperimentale (per esempio, nella rinormalizzazione la funzione d'onda dello stato di vuoto contiene un numero infinito di parametri arbitrari).

Non sarebbe molto utile qui fare un'analisi dettagliata di questi problemi. Basterà invece accennare soltanto ad alcune difficoltà generali, il che mostrerà forse che questi dettagli non sono molto rilevanti nel contesto della presente discussione.

In primo luogo, la teoria quantistica dei campi parte dalla definizione di un campo $\Psi(x, t)$. Questo campo è un ope-

ratore quantistico, con elementi di matrice $\Psi_{ij}(x, t)$, ma x e t descrivono un ordine continuo nello spazio e nel tempo. Appena imponiamo l'invarianza relativistica, otteniamo 'fluttuazioni infinite', cioè $\Psi_{ij}(x, t)$ risulta in generale infinito e discontinuo per via delle fluttuazioni quantistiche di 'punto zero', e questo contraddice l'ipotesi di partenza della continuità di tutte le funzioni richiesta da ogni teoria relativistica.

Il privilegiare gli ordini continui è una seria debolezza della teoria della relatività (come abbiamo indicato nel paragrafo precedente). Se invece ammettiamo ordini discontinui (come nel moto browniano) a essi non si applica il concetto di segnale (e perciò neppure la limitazione imposta dalla velocità della luce); e quando il concetto di segnale cessa di svolgere un ruolo fondamentale, riacquistiamo la libertà di assegnare un ruolo fondamentale alle strutture estese nelle nostre descrizioni.

Naturalmente la limitazione imposta dalla velocità della luce dovrà valere in media e su tempi lunghi. Perciò le nozioni relativistiche saranno rilevanti in opportuni casi limite. Ma non è necessario sovrapporre semplicemente la teoria della relatività alla teoria quantistica. È questa imposizione dell'*ordine descrittivo* sottostante di una teoria sull'altra che porta a caratteristiche arbitrarie e forse a contraddizioni.

Per chiarire l'origine di queste difficoltà osserviamo che, perché il concetto relativistico fondamentale di trasmissione di un segnale da un punto a un altro abbia significato, la sorgente del segnale dev'essere separata dalla regione ricevente non solo in senso spaziale, ma anche nel senso che il comportamento delle due regioni dev'essere essenzialmente autonomo.

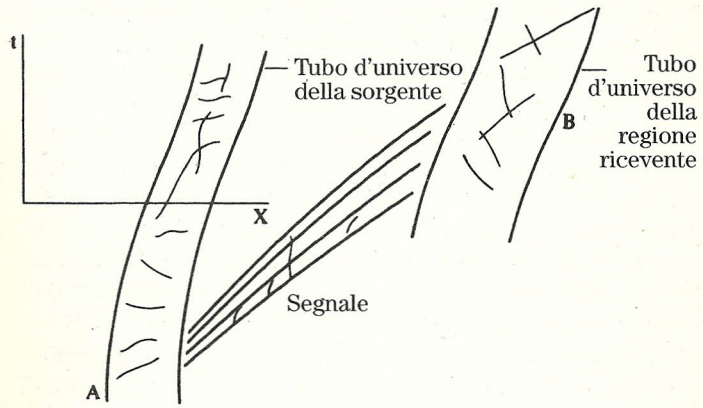

Figura 5.10

Se, come illustrato nella figura 5.10, un segnale viene emesso dal tubo d'universo di una sorgente A, esso deve propagarsi con continuità senza cambiamento d'ordine fino al tubo d'universo della regione ricevente B. Ma a un livello di descrizione quantistico, in base al principio di indeterminazione, l'ordinamento temporale degli eventi nei tubi di universo di A e di B può non essere più definibile nel modo consueto, il che già basterebbe a far perdere significato al concetto di segnale. Inoltre i concetti di una chiara e distinta separazione spaziale di A e B e di una loro possibile autonomia di comportamento cessano di essere rilevanti, perché il 'contatto' fra A e B va ora ritenuto simile a un indivisibile salto quantico di un atomo fra stati stazionari. Sviluppando questa idea nella direzione dell'esperimento di Einstein, Podolsky e Rosen, si deduce che la connessione fra A e B non può in generale essere descritta come propagazione di influenze causali (la quale propagazione è invece evidentemente necessaria come 'veicolo' di un segnale).

Sembra chiaro, perciò, che il concetto relativistico di segnale semplicemente non si inserisce coerentemente nel contesto quantistico. Fondamentalmente ciò è dovuto al fatto che tale concetto implica un *certo tipo di analisi* incom-

patibile con la totalità indivisa richiesta dalla teoria quantistica. A questo proposito possiamo osservare che, benché la teoria unitaria dei campi di Einstein neghi la possibilità di analizzare il mondo in componenti indipendenti, il ruolo fondamentale che in tale teoria svolge il concetto di segnale comporta un tipo di analisi diverso e più astratto, basato sull'idea di un 'contenuto di informazione' indipendente e autonomo in diverse regioni. Questa analisi astratta è forse incompatibile non solo con la teoria quantistica, ma probabilmente anche con il concetto di totalità indivisa implicito in altri aspetti della teoria della relatività.

Il suggerimento che emerge da sé, allora, è quello di considerare seriamente la possibilità di lasciar cadere il ruolo fondamentale assegnato all'idea di segnale, conservando invece gli altri aspetti della teoria della relatività (specialmente il principio che le leggi fisiche debbano essere relazioni invarianti e l'idea che, attraverso la nonlinearità delle equazioni o in qualche altro modo, l'analisi del mondo in componenti autonome cessi di essere rilevante). In questo modo, lasciando cadere questa sorta di attaccamento a un certo tipo di analisi che non si armonizza con il contesto quantistico, apriamo la via ad una nuova teoria che comprenda quello che resta valido della teoria della relatività senza negare la totalità indivisibile richiesta dalla teoria quantistica.

D'altro canto, anche la teoria quantistica contiene un implicito attaccamento a un certo tipo di analisi molto astratta che non si armonizza con la totalità indivisibile richiesta dalla teoria della relatività. Per vedere in che cosa consista questa analisi astratta, osserviamo che discussioni come quella dell'esperimento del microscopio di Heisenberg sottolineano l'indivisibile unità del sistema osservato e dell'apparecchio di misura solo rispetto ai risultati *effettivi* della misura. Nella teoria matematica, invece, le *potenzialità statistiche* descritte dalla funzione d'onda sono considerate come esistenti separatamente e autonomamente. In altre parole, l'*oggetto effettivo e individuale* della fisica classica è sostituito da un più astratto *oggetto potenziale e statistico*. Quest'ultimo corrisponde allo 'stato quantico del sistema', rappresentato dalla 'funzione d'onda del sistema' o più in generale da un vettore in uno spazio di Hilbert. Questo uso del linguaggio (per esempio, espressioni come 'stato del

sistema') rivela che l'oggetto del nostro pensiero è considerato come dotato di un'esistenza autonoma e separata.

La possibilità di usare coerentemente il linguaggio in questo modo dipende in larga misura dall'ipotesi matematica che l'equazione delle onde (cioè la legge che governa l'evoluzione temporale della funzione d'onda o del vettore nello spazio di Hilbert) sia lineare. (Sono state proposte equazioni nonlineari per gli operatori di campo, ma anche qui si tratta pur sempre di una nonlinearità limitata, nel senso che l'equazione fondamentale per il vettore di stato nello spazio di Hilbert viene sempre assunta lineare.) Questa linearità delle equazioni ci permette di considerare i vettori di stato come dotati di una sorta di esistenza autonoma (simile per certi versi a quella attribuita dalle teorie dei campi classiche ai modi normali, benché più astratta).

Questa completa autonomia dello stato quantico di un sistema viene ritenuta valida solo quando il sistema non viene osservato. Un'osservazione viene descritta in termini di due sistemi inizialmente autonomi che entrano in interazione[7]. Uno di essi è descritto dal 'vettore di stato del sistema osservato', l'altro dal 'vettore di stato dell'apparecchio di misura'.

In questa interazione vengono introdotte certe caratteristiche che consentono la possibilità di realizzare certe potenzialità del sistema osservato, a scapito di altre che non possono essere realizzate simultaneamente (matematicamente si parla di 'riduzione del pacchetto d'onda' o di 'proiezione del vettore di stato').

Il modo in cui ciò precisamente avviene è oggetto di accese controversie, perché i concetti fondamentali non sembrano chiari. Tuttavia non è nostro compito qui criticare in dettaglio questi tentativi. Piuttosto, vogliamo solo sottolineare che tutto questo approccio ricostruisce al livello astratto delle potenzialità statistiche lo stesso tipo di analisi in componenti autonome interagenti che era stato rifiutato al livello più concreto dei singoli oggetti. È precisamente questa analisi astratta che non combacia con l'ordine descrittivo sottostante alla teoria della relatività, che, come abbiamo visto, è incompatibile con un'analisi del mondo in componenti separate. La relatività suggerisce piuttosto che tali 'oggetti' debbano fondersi l'uno nell'altro (come le sin-

golarità del campo) a formare un tutto indivisibile. Analogamente possiamo allora concepire la possibilità che, attraverso una radicale nonlinearità o in altro modo, la teoria quantistica cambi in modo tale che la nuova teoria risultante implichi a sua volta una totalità indivisa non solo a livello degli effettivi singoli fenomeni, ma anche a quello delle potenzialità trattate in termini di insiemi statistici. In questo modo quegli aspetti della teoria quantistica che restano validi potranno armonizzarsi con quelli della teoria della relatività che restano validi.

Abbandonare il ruolo fondamentale delle idee sia di segnale sia di stato quantico non è tuttavia cosa da poco. Per trovare una nuova teoria che possa fare a meno di entrambe occorreranno evidentemente nuovi concetti di ordine, misura e struttura.

Possiamo qui suggerire che ci troviamo in una posizione per certi versi simile a quella in cui si trovava Galileo all'inizio delle sue ricerche. È stata fatta una notevole mole di lavoro che ha dimostrato l'inadeguatezza delle vecchie idee, che permettono solo di far *combaciare matematicamente* i nuovi dati sperimentali (questo lavoro è analogo a quello fatto a suo tempo da Copernico, Keplero e altri), ma non ci siamo ancora liberati completamente dal vecchio ordine di pensiero, dal vecchio modo di usare il linguaggio e di osservare. Dobbiamo perciò ancora arrivare a percepire un nuovo *ordine*. Come nel caso di Galileo, questo significherà vedere differenze nuove, in modo che gran parte di ciò che era ritenuto fondamentale nel vecchio modo di pensare risulterà più o meno corretto, ma non di primaria importanza (come accadde, per esempio, con alcune idee chiave di Aristotele). Quando vedremo le nuove differenze fondamentali, allora (come avvenne con Newton) saremo in grado di percepire un nuovo rapporto o una nuova ragione universale che metta in relazione e unifichi tutte le differenze. Questo ci porterà forse tanto oltre la teoria quantistica e la teoria della relatività quanto le idee di Newton andarono oltre quelle di Copernico.

Naturalmente questa non è un'opera che si realizza in un giorno. Dobbiamo lavorare pazientemente, lentamente e attentamente per capire l'attuale situazione generale della

fisica in modo nuovo. Alcuni passi preliminari in questa direzione saranno discussi nel capitolo 6.

NOTE

[1] Questa nozione di ordine mi è stata suggerita inizialmente in una conversazione privata dal noto artista C. Biederman. Per una presentazione delle sue idee *vedi* C. Biederman *Art as the Evolution of Visual Knowledge*, Red Wing, Minnesota, 1948.

[2] M. Born e N. Wiener 'J. Math. Phys.', vol. 5, 1926, pagg. 84-98; N. Wiener e A. Siegel 'Phis. Rev.', vol. 91, 1953, pag. 1551.

[3] Questo concetto è stato discusso nei capitoli 1 e 3 da un altro punto di vista.

[4] Per una discussione di questo punto *vedi* D. Bohm *Quantum Theory*, Prentice Hall, New York, 1951.

[5] Per un'ampia discussione di questo punto *vedi* D. Bohm *op. cit.*, capitolo 22; e per un punto di vista più recente sull'argomento *vedi* J.S. Bell 'Rev. Mod. Phys.', vol. 38, 1966, pag. 447.

[6] N. Bohr *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press, 1934.

[7] J. von Neumann *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, 1955.

6

La teoria quantistica come indicazione di un nuovo ordine nella fisica

PARTE B: ORDINE IMPLICATO ED ESPLICATO NELLE LEGGI FISICHE

1. Introduzione

Il capitolo 5 ha richiamato l'attenzione sull'emergere di nuovi ordini nella storia della fisica. Una caratteristica generale dello sviluppo di questa disciplina è stata la tendenza a considerare le nozioni fondamentali di ordine come permanenti e immutabili. Il compito della fisica veniva allora inteso come quello di *incorporare* nuove osservazioni per mezzo di *adattamenti* nei concetti fondamentali di ordine, che li facessero combaciare con i nuovi dati. Questo tipo di adattamento cominciò con gli epicicli tolemaici, che sopravvissero dall'antichità fino al lavoro di Copernico, Keplero, Galileo e Newton. Poi, non appena i concetti d'ordine fondamentali della fisica classica ebbero trovato un'espressione sufficientemente chiara, si ritenne che il lavoro ulteriore dovesse consistere nel loro adattamento in modo da includere ogni fatto nuovo. Questo stato di cose si protrasse fino all'avvento della relatività e della teoria quantistica. E da allora si può ben dire che l'indirizzo di lavoro principale in fisica sia stato l'adattamento dei concetti d'ordine generali sottostanti a queste due teorie per includere i fatti a cui le teorie stesse hanno portato.

Possiamo perciò dedurne che incorporare nuove osservazioni nel contesto di un ordine preesistente sia sempre stato considerato l'attività principale della fisica, mentre la percezione di nuovi ordini è stata ritenuta una cosa che accade solo eccezionalmente, magari in periodi rivoluzionari, in cui quello che viene considerato il processo normale di adattamento viene a cadere[1].

È pertinente a questo proposito considerare la descrizione che Piaget[2] fa di ogni forma di percezione intelligente in termini di due movimenti complementari, un movimento di adattamento (*accommodation*) e un movimento di *assimilazione*. Le due radici *com*, che significa 'insieme', e *mod*, che significa 'misura', ci mostrano che *to accommodate* (adattare) significa 'stabilire una misura comune' (*vedi* il capitolo 5 per una discussione del senso ampio del concetto di misura rilevante in questo contesto). Esempi di *accommodation* (adattamento) sono far combaciare, ritagliare secondo un modello, imitare, conformarsi a delle regole, eccetera. D'altro canto 'assimilare' significa 'digerire', trasformare in un tutto globale e inseparabile (che include noi stessi). Assimilare significa perciò 'comprendere'.

È chiaro che nella percezione intelligente l'assimilazione va considerata primaria, mentre l'adattamento ha un ruolo relativamente secondario e il suo principale significato è quello di aiutare l'assimilazione.

Naturalmente, in certi contesti è possibile incorporare una cosa osservata in un ordine di pensiero esistente e con ciò stesso assimilarla adeguatamente. Ma in contesti più generali è necessario prendere in considerazione la possibilità che i vecchi ordini di pensiero non siano più rilevanti, che non possano venire coerentemente adattati in modo da includere il fatto nuovo osservato. Come abbiamo visto in maniera abbastanza dettagliata nel capitolo 5, si rende allora necessario vedere l'irrilevanza di vecchie differenze e la rilevanza di nuove differenze, aprendo la via alla percezione di nuovi ordini, misure e strutture.

Chiaramente questa percezione può avvenire quasi in ogni momento: essa non deve necessariamente limitarsi a periodi rivoluzionari, in cui si constata che i vecchi ordini non possono più essere adattati ai nuovi fatti. Possiamo invece essere sempre pronti a lasciar cadere le vecchie nozioni di ordine in vari contesti, ampi o ristretti, e a percepire nuove nozioni rilevanti in quei contesti. Comprendere i fatti assimilandoli entro nuovi ordini può perciò diventare quello che potremmo forse chiamare il modo normale di fare della ricerca scientifica.

Lavorare in questo modo significa evidentemente rendere prioritario qualcosa che assomiglia alla *percezione artistica*. Tale percezione parte dall'osservazione dell'intero fatto nella sua piena individualità e poi per gradi articola l'ordine appropriato per assimilarlo. Non parte da proconcetti astratti su quale debba essere l'ordine, per poi adattarli all'ordine che viene osservato.

Qual è allora il giusto ruolo dell'incorporare fatti in ordini, misure e strutture di teorie preesistenti? Qui è importante notare che i fatti non vanno considerati come oggetti indipendentemente esistenti, che troviamo nei nostri laboratori. Un fatto è piuttosto 'ciò che è stato fatto': in un certo senso siamo noi che 'facciamo' il fatto. Vale a dire che, a partire dalla percezione immediata di una situazione reale, la trasformiamo in fatto dandole un ordine, una forma e una struttura con l'aiuto dei nostri concetti teorici. Per esempio, servendosi dei concetti d'ordine dominanti nell'antichità, gli scienziati furono portati a 'fare' il fatto delle orbite planetarie, descrivendole e misurandole in termini di epicicli. I fatti della fisica classica sono invece 'fatti' sul modello di ordine delle orbite planetarie descritte in termini di posizioni e di tempi. I fatti della relatività generale sono 'fatti' in base all'ordine della geometria riemanniana e alla misura che risulta da concetti come quello di curvatura dello spazio. Nella teoria quantistica, i fatti sono 'fatti' in base all'ordine dei livelli energetici, dei numeri quantici, dei gruppi di simmetria, e così via, insieme con opportune misure (per esempio, sezioni d'urto, masse e cariche di particelle, eccetera).

I cambiamenti di ordine e misura nella teoria portano in ultima analisi a nuovi modi di sperimentare e a nuovi strumenti, che a loro volta portano a 'fare' fatti di nuovo tipo corrispondentemente ordinati e misurati. In questo sviluppo il fatto sperimentale serve in primo luogo come banco di prova per i concetti teorici. Perciò, come abbiamo detto nel capitolo 5, la forma generale di ogni spiegazione teorica è una sorta di rapporto: 'come A sta a B nella nostra struttura di pensiero, così è nei fatti'. Questa *ratio* costituisce una sorta di 'misura comune' o 'adattamento' (*accommodation*) fra teoria e fatti.

Finché prevale questa misura comune naturalmente la

teoria usata non ha bisogno di essere cambiata. Se la misura comune viene a mancare, il primo passo consiste nel vedere se è possibile ristabilirla per mezzo di adattamenti nella teoria senza modificarne l'ordine sottostante. Se dopo ragionevoli tentativi ancora non si ottiene un adeguato adattamento di questo tipo, quello che occorre è guardare con occhi nuovi l'*intero fatto*. Questo ora include non solo i risultati sperimentali, ma anche l'*incapacità di certi indirizzi teorici di comprendere i risultati sperimentali in una 'misura comune'*. Allora, come abbiamo detto, dobbiamo essere molto sensibili e attenti a tutte le differenze rilevanti sottostanti all'ordine principale della vecchia teoria, per vedere se c'è spazio per un cambiamento di ordine complessivo. Va sottolineato qui che questo tipo di percezione dovrebbe intrecciarsi continuamente con la ricerca di adattamento e non dovrebbe essere rimandato fino al momento in cui l'intera situazione diventa confusa e caotica e richiede la distruzione rivoluzionaria del vecchio ordine per essere chiarificata.

Come la relatività e la teoria quantistica hanno mostrato che non ha significato separare l'apparecchio di misura dall'oggetto osservato, così queste considerazioni mostrano che non ha significato separare il fatto osservato (compresi gli strumenti usati nell'osservazione) dai concetti teorici di ordine che contribuiscono a dargli 'forma'. Mentre procediamo a sviluppare nuovi concetti d'ordine che vanno al di là di quelli della relatività e della teoria quantistica, non sarà perciò appropriato cercare di applicarli immediatamente ai problemi correnti, emersi dall'esame dell'attuale insieme di fatti sperimentali. Quello che occorre piuttosto in questo contesto è assimilare in un senso molto lato l'intero fatto fisico nei nuovi concetti teorici di ordine. Quando il fatto è stato 'digerito', possiamo cominciare a intravedere nuovi modi per mettere alla prova questi concetti e forse per estenderli in varie direzioni. Come abbiamo detto alla fine del capitolo 5, dobbiamo procedere lentamente e pazientemente, se non vogliamo lasciarci confondere da fatti 'non digeriti'.

Si vede così che fatto e teoria sono aspetti diversi di un tutto per cui l'analisi in parti separate interagenti non è rilevante. Vale a dire che la totalità indivisa non è implicita

solo nel *contenuto* della fisica (in particolare nella relatività e nella teoria quantistica), ma anche nel suo *modo di lavorare*. Questo significa che non dobbiamo *sempre* cercare di far combaciare una nuova teoria con il tipo di fatti appropriato nell'ambito degli ordini descrittivi attualmente accettati, ma possiamo anche essere pronti, quando occorre, a considerare cambiamenti in cosa significhi un fatto, cosa che può essere necessaria per la sua assimilazione nei nuovi concetti teorici di ordine.

2. Totalità indivisa: la lente e l'ologramma

La totalità indivisa di modi di osservazione, strumentazione e comprensione teorica a cui abbiamo accennato ci costringe a prendere in considerazione un *nuovo ordine di fatti*, vale a dire il modo in cui le varie modalità di comprensione teorica, di strumentazione e di osservazione stanno in relazione fra loro. Finora abbiamo dato per scontata questa relazione, senza fare seriamente attenzione al modo in cui sorge, forse ritenendo che lo studio di questo argomento appartenesse piuttosto alla 'storia della scienza' che alla 'scienza vera e propria'. Ma qui vogliamo suggerire che prendere in considerazione questa relazione è essenziale per comprendere adeguatamente la scienza stessa, perché il contenuto dei fatti osservati non può essere coerentemente separato dalle modalità di osservazione, strumentazione e comprensione teorica.

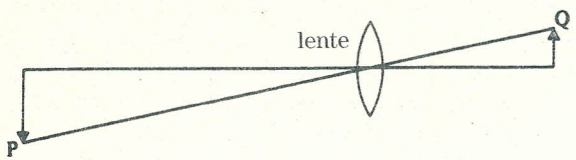

Figura 6.1

Come esempio della strettissima relazione fra strumentazione e teoria possiamo considerare la *lente*, che è stata in effetti un elemento cruciale nello sviluppo del pensiero

scientifico moderno. La caratteristica essenziale di una lente, come indicato nella figura 6.1, è il fatto di formare un'immagine di un oggetto, in cui al punto *P* dell'oggetto corrisponde (con buona approssimazione) un punto *Q* dell'*immagine*. Mettendo così nettamente in evidenza la corrispondenza fra singole caratteristiche dell'oggetto e dell'immagine, la lente ha grandemente rafforzato la consapevolezza delle varie parti dell'oggetto e delle relazioni fra di esse. In questo senso essa ha rafforzato la tendenza a pensare in termini di analisi e di sintesi. Inoltre ha reso possibile un'enorme estensione dell'ordine classico di analisi e sintesi, includendovi oggetti troppo lontani, troppo grandi, troppo piccoli o in movimento troppo rapido per essere ordinati dalla visione a occhio nudo. Gli scienziati sono stati così indotti a estrapolare la validità delle loro concezioni e a pensare che l'approccio analitico fosse valido e rilevante per quanto lontano ci si potesse spingere, in ogni situazione, contesto e grado di approssimazione.

Ma, come abbiamo visto nel capitolo 5, la relatività e la teoria quantistica implicano invece una totalità indivisa, in cui l'analisi in parti distinte ben definite non è più rilevante. C'è uno strumento che possa darci una certa percezione immediata del significato di questa totalità, così come la lente ce l'ha data dell'analisi di un sistema in parti distinte? Vogliamo suggerire qui che una percezione del genere è possibile considerando l'*ologramma*. (Il nome deri-

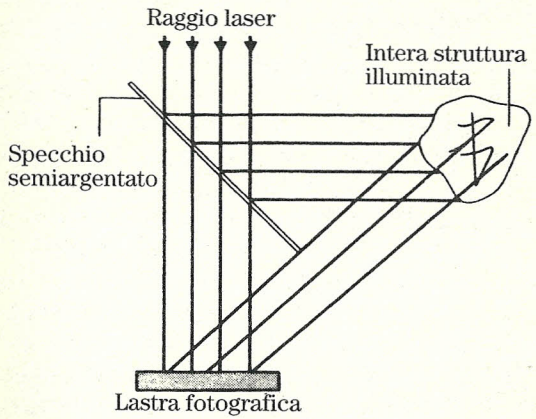

Figura 6.2

va dal greco *holo*, che significa 'tutto' o 'intero', e *gram*, che significa 'scrivere'. L'ologramma è perciò uno strumento che, per così dire, 'scrive l'intero'.)
Come illustrato nella figura 6.2, la luce coerente di un laser viene fatta passare attraverso uno specchio semiargentato. Una parte del raggio raggiunge direttamente una lastra fotografica, mentre l'altra parte viene riflessa e illumina l'insieme di una certa struttura. La luce riflessa dalla struttura raggiunge anch'essa la lastra fotografica, dove interferisce con quella che vi arriva per via diretta. La figura di interferenza registrata sulla lastra fotografica non solo è molto complicata, ma di solito è anche tanto fine da non essere neppure visibile a occhio nudo. Tuttavia essa in qualche modo dipende dall'intera struttura illuminata, benché in modo altamente implicito.

La rilevanza della figura di interferenza per l'intera struttura illuminata si manifesta quando la lastra fotografica viene illuminata con luce laser. Come illustrato nella figura 6.3, si forma allora un fronte d'onda di forma molto simile a quello proveniente dalla struttura illuminata originaria. Mettendo l'occhio davanti alla lastra fotografica, si vede in effetti l'intera struttura originaria, in tre dimensioni e sotto vari angoli, come se la si guardasse attraverso una finestra. Se la luce laser illumina solo una piccola porzione *R* della lastra fotografica, *vediamo ancora l'intera struttura*, ma con dettagli un po' meno definiti e da un campo di punti di vista più ristretto (come se la guardassimo da una finestra più piccola).

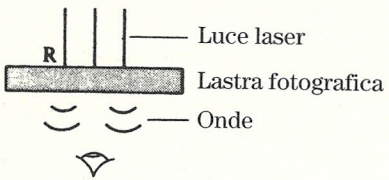

Figura 6.3

È chiaro allora che non esiste una corrispondenza biunivoca fra i vari punti dell'oggetto illuminato e i punti di un'immagine dell'oggetto sulla lastra. La figura d'interferenza in

ogni regione *R* della lastra riguarda invece l'intera struttura e ogni parte della struttura influisce sulla figura d'interferenza in ogni parte della lastra. (Per effetto delle proprietà ondulatorie della luce, in realtà neppure la lente produce un'esatta corrispondenza biunivoca: essa può perciò essere considerata come un caso limite di ologramma.)

Possiamo spingerci oltre e dire che, per quanto riguarda il loro significato, tipicamente gli esperimenti oggi effettuati in fisica, soprattutto nel contesto quantistico, assomigliano più al caso generale dell'ologramma che al caso particolare della lente. Considera, per esempio, un esperimento di diffusione. Come mostrato in figura 6.4, gli effetti osservati nell'apparecchio rivelatore dipendono in generale dalla struttura dell'intero bersaglio, o per lo meno di una parte di esso tanto grande da contenere moltissimi atomi.

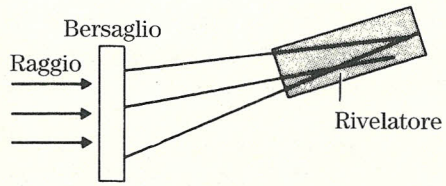

Figura 6.4

Potremmo in linea di principio cercare di ottenere un'immagine di un singolo atomo, ma la teoria quantistica implica che fare ciò avrebbe ben poco significato. In effetti, come dimostra la discussione del microscopio di Heisenberg fatta nel capitolo 5, la formazione di un'immagine è precisamente ciò che non è rilevante nel contesto quantistico. Tutt'al più l'esame del processo di formazione di un'immagine serve a mettere in evidenza i limiti di applicabilità dei modi di descrizione classici.

Perciò possiamo dire che nell'attuale ricerca fisica i mutamenti che si producono nell'apparecchio di misura tendono a riflettere un'intera struttura, in modo abbastanza simile a quel che succede in un ologramma. Certamente ci sono anche delle differenze. Negli attuali esperimenti con fasci di elettroni o di raggi X, questi ultimi sono raramente

coerenti su distanze apprezzabili. Ma, se risultasse un giorno possibile sviluppare qualcosa come un laser elettronico o un laser a raggi X, gli esperimenti rivelerebbero direttamente le strutture atomiche e nucleari senza bisogno dei complessi passaggi deduttivi oggi necessari, come l'ologramma fa per le strutture macroscopiche ordinarie.

3. Ordine implicato ed esplicato

La differenza fra lente e ologramma può essere significativa per percepire un nuovo ordine rilevante per le leggi fisiche. Come Galileo notò la distinzione fra un mezzo viscoso e il vuoto e vide che le leggi fisiche dovevano riferirsi fondamentalmente all'ordine del movimento degli oggetti nel vuoto, così noi ora potremmo notare la distinzione fra lente e ologramma e prendere in considerazione la possibilità che le leggi fisiche si riferiscano fondamentalmente a un ordine di totalità indivisa simile a quello suggerito dall'ologramma, anziché a un ordine analitico come quello indicato dalla lente.

Quando le idee aristoteliche sul movimento furono abbandonate, Galileo e coloro che vennero dopo di lui dovettero affrontare il problema di descrivere dettagliatamente il nuovo ordine del movimento. La risposta venne tramite il linguaggio delle coordinate cartesiane, completato da quello del calcolo differenziale. Ma naturalmente questo tipo di descrizione è appropriato solo in un contesto in cui è rilevante l'analisi in parti distinte ed autonome e quindi dovrà a sua volta essere abbandonato. Quale sarà allora il nuovo tipo di descrizione appropriato al contesto attuale?

Come accadde con le coordinate cartesiane e il calcolo differenziale, a questa domanda non è possibile rispondere immediatamente in termini di prescrizioni ben definite. Occorre invece osservare la nuova situazione in modo molto ampio ed esplorativo, 'sentire' quali possano essere le nuove caratteristiche rilevanti. Questo ci consentirà di discernere il nuovo ordine, che si dispiegherà e si articolerà in modo naturale (e non come risultato di tentativi di farlo corrispondere a nozioni preconcette di che cosa esso dovrebbe essere in grado di realizzare).

Possiamo cominciare questa ricerca notando che, in un

senso sottile, non evidente alla visione a occhio nudo, la figura di interferenza presente nell'intera lastra fotografica distingue vari ordini e misure nell'intera struttura illuminata.

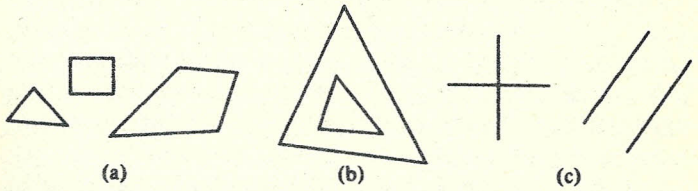

Figura 6.5

Per esempio, la struttura può contenere figure geometriche di varie forme e dimensioni (indicate nella figura 6.5a) e relazioni topologiche come dentro e fuori (indicate nella figura 6.5b) e intersezione e separazione (indicate nella figura 6.5c). Tutte queste cose danno luogo a figure di interferenza diverse e sono queste differenze che vanno in qualche modo descritte in dettaglio.

Le differenze tuttavia non esistono solo nella lastra fotografica. Anzi, in realtà quest'ultima è di secondaria importanza, in quanto la sua funzione è solo quella di fornire una 'registrazione' relativamente permanente della figura di interferenza della luce presente in una certa regione dello spazio. Più in generale il movimento della luce in varie regioni dello spazio contiene implicitamente un'ampia gamma di distinzioni di ordini e misure che dipendono dall'intera struttura illuminata. In linea di principio questa struttura si estende in tutto l'universo, copre tutto il passato e ha implicazioni per tutto il futuro. Considera, per esempio, come guardando il cielo notturno riusciamo a discernere strutture, contenute in un certo senso nel movimento della luce nel minuscolo spazio abbracciato dall'occhio, che coprono immense distese di spazio e di tempo (e anche come strumenti come i telescopi ottici o i radiotelescopi riescono a discernere una parte sempre maggiore di questa totalità, contenuta in ciascuna regione dello spazio).

In questo c'è il germe di un nuovo concetto d'ordine. Quest'ordine non va compreso solo in termini di disposizione

regolare di *oggetti* (per esempio in file) o di *eventi* (per esempio in una serie). Un *ordine complessivo* è invece contenuto, in un senso *implicito*, in ciascuna regione spaziotemporale.

La parola 'implicito' deriva dal verbo 'implicare', che significa 'piegare in dentro', 'piegare verso l'interno' (così come 'moltiplicare' significa 'piegare molte volte'). Siamo perciò indotti a esplorare l'idea che, in un qualche senso, ogni regione spaziotemporale contenga una struttura complessiva 'ripiegata al suo interno' o 'inviluppata'.

È utile in questa esplorazione esaminare qualche altro esempio di ordine inviluppato o *implicato*. Un esempio è costituito da una trasmissione televisiva, in cui l'immagine visiva ripresa dalla telecamera viene tradotta in una sequenza temporale di segnali, 'trasportati' da un'onda radio. Punti fra loro vicini nell'immagine non si trovano necessariamente vicini fra loro nell'ordine del segnale radio; perciò l'onda trasporta l'immagine in un ordine implicato. La funzione dell'apparecchio ricevente è quella di *esplicare* quest'ordine, cioè di 'dispiegarlo' sotto forma di una nuova immagine visiva.

Un esempio più suggestivo di ordine implicato è un'esperienza realizzabile in laboratorio per mezzo di un recipiente trasparente riempito di un fluido molto viscoso, come la melassa, e dotato di un rotatore meccanico in grado di 'mescolare' il fluido in maniera molto lenta ma completa. Se immettiamo nel fluido una gocciolina di inchiostro insolubile e mettiamo in moto il rotatore, la gocciolina pian piano si trasforma in un filamento che si diffonde in tutto il fluido. Questo filamento sembra ora distribuito in maniera più o meno 'casuale' e appare solo come una sfumatura grigia. Ma se invertiamo il movimento del dispositivo mescolatore si inverte anche la trasformazione e la goccia di inchiostro improvvisamente riappare, ricomposta. (Questa illustrazione del concetto di ordine implicato sarà ulteriormente discussa nel capitolo 7.)

Quando la goccia d'inchiostro era distribuita in modo apparentemente casuale, essa aveva tuttavia un *certo tipo* di ordine, diverso per esempio da quello generato da un'altra goccia collocata in una diversa posizione iniziale. Ma quest'ordine era *inviluppato* o *implicato* nella massa grigia visibile in seno al fluido. In effetti potremmo 'inviluppare' in questo modo un'intera immagine. Inviluppate, immagini diverse apparirebbero indistinguibili; eppure esse avrebbero ordini implicati diversi e queste differenze potrebbero essere rivelate invertendo il movimento del dispositivo ed esplicando i relativi ordini implicati.

Ciò che succede qui è simile sotto certi aspetti importanti a quello che succede nell'ologramma. Certamente ci sono anche delle differenze. In un'analisi sufficientemente dettagliata si vedrebbe che le posizioni delle varie parti della gocciolina d'inchiostro restano fra loro in corrispondenza biunivoca, quando il fluido viene mescolato in maniera continua; mentre nell'ologramma una tale corrispondenza biunivoca non esiste. Perciò nell'ologramma (come negli esperimenti del contesto quantistico) non c'è modo di ridurre in ultima analisi l'ordine implicato a un tipo più sottile e complesso di ordine esplicato.

Tutto questo mette in evidenza la rilevanza di una nuova distinzione fra ordine implicato ed esplicato. In generale finora le leggi della fisica hanno fatto riferimento soprattutto all'ordine esplicato. Anzi, si può dire che la funzione principale delle coordinate cartesiane sia proprio quella di fornire una descrizione chiara e precisa dell'ordine esplicato. Noi proponiamo invece ora di dare rilevanza primaria all'ordine implicato nella formulazione delle leggi fisiche, mentre l'ordine esplicato avrà solo un significato secondario (analogamente a quanto accadde alla concezione aristotelica del movimento con lo sviluppo della fisica classica). Possiamo perciò aspettarci che non sia più possibile dare una funzione primaria alla descrizione in termini di coordinate cartesiane e che occorra in effetti sviluppare un nuovo tipo di descrizione per studiare le leggi fisiche.

4. L'olomovimento e i suoi aspetti

Per trovare un nuovo tipo di descrizione che assegni un ruolo primario all'ordine implicato consideriamo di nuovo la caratteristica fondamentale dell'ologramma, cioè il fatto che in ciascuna regione spaziale l'ordine di un'intera struttura illuminata è 'inviluppato' e 'trasportato' nel movimen-

to della luce. Una cosa simile accade nella modulazione di un'onda radio con un segnale (fig. 6.6).

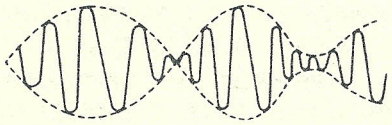

Figura 6.6

In entrambi i casi il contenuto o significato 'inviluppato' e 'trasportato' è costituito essenzialmente da un ordine e una misura, che permettono lo sviluppo di una struttura. Nel caso dell'onda radio la struttura può essere quella di una comunicazione verbale, di un'immagine visiva, eccetera; nel caso dell'ologramma può essere una struttura anche più sottile, particolarmente una struttura tridimensionale, osservabile da vari punti di vista.

In generale un ordine e una misura cosiffatti possono essere 'inviluppati' e 'trasportati' non solo da onde elettromagnetiche, ma anche da fasci di elettroni, da onde sonore e da innumerevoli altre forme di movimento. Per generalizzare il concetto in modo da sottolineare la totalità indivisa, diremo che ciò che 'trasporta' un ordine implicato è l'*olomovimento*, che è una totalità indivisa e senza separazioni. In certi casi possiamo astrarre aspetti particolari dell'olomovimento, per esempio luce, elettroni, suono, eccetera. Ma più in generale tutte le sue forme si fondono insieme e sono inseparabili. Perciò nella sua totalità l'olomovimento non è limitato in alcun modo specificabile. Non deve necessariamente essere conforme ad alcun particolare ordine o essere limitato da alcuna particolare misura. *L'olomovimento è indefinibile e immisurabile.*

Dare un significato primario all'indefinibile e immisurabile olomovimento implica che non ha senso parlare di una teoria *fondamentale*, in cui *tutta* la fisica possa trovare una base *permanente* o a cui *tutti* i fenomeni fisici possano in ultima analisi essere ridotti. Ogni teoria astrarrà invece un certo aspetto, *rilevante* in un certo contesto limitato, definito da un'appropriata misura.

Nel discutere come dobbiamo rivolgere l'attenzione a questi aspetti è utile ricordare che la parola 'rilevante' deriva dal verbo 'rilevare', il cui significato originario è 'sollevare'. Possiamo perciò dire che, in un dato contesto, i modi di descrizione propri di una certa teoria servono a rilevare un certo contenuto, a metterlo 'in rilievo', a sollevarlo alla nostra attenzione. Se questo contenuto è pertinente al contesto in esame esso viene detto rilevante, altrimenti viene detto irrilevante.

Per illustrare che cosa significa 'rilevare' certi aspetti dell'ordine implicato nell'olomovimento consideriamo ancora una volta l'esempio del dispositivo per mescolare un fluido viscoso descritto nel paragrafo precedente. Supponiamo di introdurre una gocciolina d'inchiostro e di far fare al meccanismo *n* giri. Poi collochiamo una seconda gocciolina d'inchiostro vicino al punto in cui avevamo introdotto la prima e facciamo compiere al dispositivo altre *n* rivoluzioni. Possiamo ripetere questo processo indefinitamente, introducendo una serie di gocce disposte lungo una linea, come illustrato nella figura 6.7.

Figura 6.7

Supponiamo ora, dopo avere così 'implicato' nel fluido un gran numero di goccioline, di far girare il dispositivo in senso inverso tanto velocemente che la comparsa delle singole goccioline sia più rapida del tempo di risoluzione del nostro occhio. Quello che vedremo è allora qualcosa di simile a una particella che si muove con continuità nello spazio. Questa forma di un oggetto in movimento appare alla nostra percezione immediata essenzialmente per via del fatto che l'occhio non è sensibile alla concentrazione dell'inchiostro sotto una certa soglia, in modo che non ne distingue direttamente 'l'intero movimento'. La percezione immediata ne rileva (vale a dire ne 'mette in rilievo') invece un certo aspetto, mentre il resto del fluido è visto solo come uno 'sfondo grigio' in cui 'l'oggetto rilevato' sembra in movimento.

Questo aspetto rilevato non è tanto interessante *in sé*, quanto per il suo *significato più ampio*. In questo esempio un possibile significato è che vi sia *effettivamente* un oggetto autonomo in movimento nel fluido. Questo vorrebbe dire che l'intero ordine del movimento è simile a quello dell'aspetto immediatamente percepito. In certi contesti questo significato è pertinente e adeguato: per esempio, quando nella nostra esperienza ordinaria abbiamo a che fare con un sasso in volo nell'aria. Ma nel contesto attuale il significato è molto diverso e può essere comunicato solo per mezzo di una descrizione molto diversa.

Tale descrizione deve partire dal rilevare *concettualmente* certi ordini di movimento più ampi, che vanno al di là di quelli simili all'ordine rilevato dalla percezione immediata. Facendo ciò, partiamo sempre dall'olomovimento e ne astraiamo certi aspetti particolari che formino una totalità abbastanza ampia da permettere un'adeguata descrizione del contesto in esame. Nel nostro esempio, questa totalità dovrebbe comprendere l'intero movimento del fluido e dell'inchiostro determinato dal dispositivo di mescolamento, il movimento della luce che ci permette di percepire ciò che sta accadendo e i movimenti dell'occhio e del sistema nervoso che determinano le distinzioni percepibili nel movimento della luce.

Si può dire allora che il contenuto rilevato nella percezione immediata ('l'oggetto in movimento') sia una sorta di *intersezione* fra due ordini. Uno di essi è l'ordine che consente un diretto contatto percettivo (in questo caso, quello del movimento della luce e della risposta del sistema nervoso); l'altro è l'ordine che determina il contenuto particolare di ciò che è percepito (in questo caso, l'ordine del movimento dell'inchiostro nel fluido). Una simile descrizione in termini di intersezione di ordini è evidentemente applicabile in generale[3].

Abbiamo già visto che in generale il movimento della *luce* va descritto in termini di 'inviluppo e trasporto' di ordini implicati rilevanti per un'intera struttura. In questa descrizione l'analisi in parti separate ed autonome non è applicabile (benché, ovviamente, una descrizione in termini di ordini esplicati è adeguata in certi contesti limitati). Nel nostro esempio anche il movimento dell'*inchiostro* va descritto in termini simili: in esso certi ordini implicati (nella distribuzione dell'inchiostro in seno al fluido) vengono esplicati (nel ricostituirsi di una goccia), mentre ordini esplicati vengono implicati (nel dissolversi di una goccia).

Per descrivere questo movimento più in dettaglio è utile qui introdurre una nuova *misura*, vale a dire un 'parametro d'implicazione', che indicheremo con T. Nel fluido esso rappresenta il numero di giri necessario a esplicare una data gocciolina d'inchiostro. La struttura complessiva dell'inchiostro in un dato momento può allora essere considerata una serie ordinata di sottostrutture, ciascuna delle quali corrisponde a una singola goccia N con il relativo parametro d'implicazione T_N.

Evidentemente abbiamo qui un nuovo concetto di struttura, perché non ci limitiamo più a considerare strutture formate da disposizioni ordinate e misurate di cose separate, tutte simultaneamente esplicate. Possiamo invece ora considerare strutture in cui aspetti con vari gradi di implicazione (misurati dal parametro T) sono disposti secondo un certo ordine.

Tali aspetti possono essere complessi. Per esempio, possiamo implicare un'intera figura facendo fare al mescolatore n giri. Poi possiamo implicare una figura leggermente diversa e così via. Quando il dispositivo viene fatto girare rapidamente nel verso opposto vediamo una 'scena tridimensionale' che ci appare come un 'intero sistema' di oggetti in movimento e in interazione fra loro.

In questo caso, la figura presente in ogni dato momento consiste solo degli aspetti che possono essere esplicati insieme (cioè degli aspetti che hanno lo stesso valore del parametro d'implicazione T). Così come gli eventi che accadono allo stesso tempo vengono detti *sincroni*, gli aspetti esplicabili insieme possono essere detti *sinordinati*, mentre quelli che non possono essere esplicati insieme possono essere detti asinordinati. Evidentemente il nuovo concetto di struttura che stiamo esaminando comporta aspetti *asinordinati*, mentre i precedenti concetti di struttura comprendevano solo aspetti *sinordinati*.

Va sottolineato qui che l'ordine d'implicazione misurato dal parametro T non è necessariamente legato all'ordine del tempo (misurato da un *altro* parametro, t). Questi due pa-

rametri sono solo legati in maniera *contingente* (nel nostro esempio dalla velocità di rotazione del mescolatore). È il parametro *T* che è direttamente rilevante per la descrizione della struttura implicata, non il parametro *t*.

Quando una struttura è *asinordinata* (vale a dire costituita da aspetti con diversi gradi d'implicazione), evidentemente l'ordine temporale non è quello primario per l'espressione di una legge. Come si vede dagli esempi precedenti, l'*intero ordine implicato* è presente in ogni momento, in modo tale che l'intera struttura che ne risulta può essere descritta senza assegnare al tempo un ruolo primario. La legge della struttura collega fra loro gli aspetti con vari gradi di implicazione. Una legge cosiffatta naturalmente non è una legge deterministica *nel tempo*. Ma, come abbiamo visto nel capitolo 5, il determinismo nel tempo non è la sola forma di *ratio*, di rapporto o ragione. Finché riusciamo a trovare una *ratio* negli ordini primariamente rilevanti, questo è tutto quel che occorre per una legge.

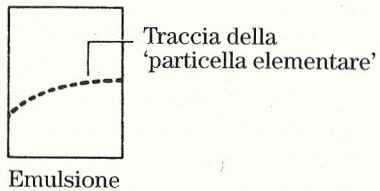

Figura 6.8

Il 'contesto quantistico' presenta una significativa somiglianza con gli ordini di movimento descritti in questi semplici esempi. Le 'particelle elementari', come illustrato nella figura 6.8, vengono generalmente osservate per mezzo delle tracce che lasciano in un apparecchio rivelatore (un'emulsione fotografica, una camera a bolle, eccetera). Una traccia cosiffatta non va considerata evidentemente nulla di più che un *aspetto* che appare nella percezione immediata (proprio come la sequenza di goccioline d'inchiostro in movimento della figura 6.7). Descriverla come traccia di una 'particella' significa assumere che l'ordine primario rilevante del movimento sia simile a quello dell'aspetto immediatamente percepito.

Ma l'esame che abbiamo fatto del nuovo ordine implicito nella teoria quantistica mostra che tale descrizione non è coerentemente sostenibile. Per esempio, la necessità di descrivere il movimento discontinuamente in termini di 'salti quantici' implica che l'idea di una ben definita traiettoria della particella che collega i segni visibili che costituiscono la traccia non ha senso. In ogni caso, il dualismo onda-corpuscolo nelle proprietà della materia fa sì che il movimento dipenda dall'intera disposizione sperimentale in maniera incompatibile con l'idea di movimento autonomo di particelle localizzate.

E naturalmente la discussione dell'esperimento del microscopio di Heisenberg indica la rilevanza di un nuovo ordine di totalità indivisa, in cui non ha senso parlare di un oggetto osservato come se fosse separato dall'intera situazione sperimentale in cui avviene l'osservazione. Perciò l'uso del termine descrittivo 'particella' nel contesto quantistico è molto equivoco.

Evidentemente abbiamo a che fare qui con qualcosa di molto simile per certi versi all'esempio del mescolamento dell'inchiostro in un fluido viscoso. In entrambi i casi la percezione immediata ci presenta un ordine esplicato che non può coerentemente essere considerato autonomo. Nell'esempio dell'inchiostro, l'ordine esplicato è l'intersezione dell'ordine implicato dell'intero movimento del fluido con l'ordine implicato delle distinzioni di densità dell'inchiostro rilevate dalla percezione sensoriale.

Nel contesto quantistico ci sarà analogamente un'intersezione di un ordine implicato corrispondente a ciò che abbiamo chiamato, per esempio, 'l'elettrone' e un altro ordine implicato di distinzioni rilevate (e registrate) dall'apparecchio di misura. La parola 'elettrone', perciò, va considerata soltanto un nome con cui mettiamo in evidenza un certo aspetto dell'olomovimento, aspetto che tuttavia può essere discusso solo tenendo conto dell'intera situazione sperimentale e non può essere specificato in termini di un oggetto localizzato che si muove autonomamente nello spazio. Ogni 'particella' considerata nella fisica attuale un costituente elementare della materia dovrà essere descritta in questi stessi termini (tali 'particelle' non saranno più viste perciò come autonome e separatamente esistenti). Giun-

giamo così a una nuova descrizione fisica in cui 'tutto implica tutto' in un ordine di totalità indivisa.

Una discussione matematica di come sia possibile assimilare il contesto quantistico in termini del tipo di ordine implicato discusso sopra è contenuta nell''Appendice' a questo capitolo.

5. La legge nell'olomovimento

Abbiamo visto che nel contesto quantistico l'ordine di ogni aspetto del mondo immediatamente percepibile va considerato come emergente da un ordine implicato più ampio, in cui tutti gli aspetti in ultima analisi si fondono nell'indefinibile e immisurabile olomovimento. Come dobbiamo allora intendere il fatto che descrizioni basate sull'analisi del mondo in componenti autonome funzionano, per lo meno in certi contesti (per esempio, quelli in cui vale la fisica classica)?

Per rispondere a questa domanda notiamo in primo luogo che la parola 'autonomo' deriva da due parole greche: *auto*, che significa 'sé', e *nomos*, che significa 'legge'. Perciò essere autonomi significa muoversi secondo una legge propria.

Evidentemente nulla gode di una totale autonomia. Tutt'al più una certa cosa può muoversi con un *grado relativo e limitato* di autonomia, in certe condizioni ed entro una certa approssimazione. Come minimo ogni entità relativamente autonoma (per esempio, una particella) è limitata da altre entità relativamente autonome. Questa limitazione viene attualmente descritta in termini di *interazioni*. Qui invece introdurremo la parola 'eteronomia' per richiamare l'attenzione a una legge in cui varie cose relativamente autonome si rapportano fra loro in questo modo, cioè esternamente e in maniera più o meno meccanica.

La caratteristica dell'eteronomia è l'applicabilità *di descrizioni analitiche*. (Come abbiamo visto nel capitolo 5, la radice della parola 'analisi' è il greco *lysis*, che significa 'sciogliere'. Poiché il prefisso *ana* significa 'sopra', si può dire che 'analizzare' sia 'sciogliere dall'alto', cioè formarsi un'ampia visione, come da grande altezza, in termini di

componenti ritenute autonome e separatamente esistenti, benché in interazione fra loro.)

Come abbiamo visto, tuttavia, in contesti sufficientemente ampi queste descrizioni analitiche cessano di essere adeguate. Quel che occorre prendere in considerazione allora è l'*olonomia*, cioè la legge del tutto. L'olonomia non nega la rilevanza dell'analisi nel senso sopra descritto. In effetti, la 'legge del tutto' in genere includerà anche la possibilità di 'sciogliere' certi aspetti l'uno dall'altro in modo che risultino relativamente autonomi in contesti limitati, nonché la possibilità di descrivere le loro interazioni in un sistema di eteronomia. Tuttavia, ogni forma di relativa autonomia (e di eteronomia) è in senso ultimo limitata dall'olonomia; onde in un contesto sufficientemente ampio tali forme appaiono puramente come aspetti rilevati in seno all'olomovimento e non come cose disgiunte e separatamente esistenti in interazione fra loro.

La ricerca scientifica tende in genere a partire dalla rilevazione di aspetti apparentemente autonomi della totalità. Dapprima si studiano le leggi di questi aspetti, ma di solito questo studio porta gradualmente i ricercatori a rendersi conto che tali aspetti sono legati ad altri, originariamente ritenuti ininfluenti nel contesto esaminato.

Di quando in quando un'ampia gamma di aspetti viene compresa in una 'nuova totalità'. Ma la tendenza generale in questi casi è stata finora quella a fissarsi su questa 'nuova totalità' come ordine generale definitivamente valido. Tale ordine andrà perciò d'ora innanzi soltanto adattato (come descritto nel primo paragrafo di questo capitolo) per includere ogni ulteriore fatto che potrà essere osservato o scoperto. È implicito in quanto detto qui, tuttavia, che anche la 'nuova totalità' apparirà un giorno come un aspetto particolare di un'ulteriore 'nuova totalità'. L'olonomia perciò non va considerata come un punto d'arrivo finale e statico della ricerca scientifica, ma piuttosto come un movimento in cui 'nuove totalità' continuano a emergere. E naturalmente ciò implica che la legge totale dell'indefinibile e immisurabile olomovimento non potrà mai essere conosciuta, specificata o formulata in parole. Tale legge dovrà invece necessariamente essere sempre considerata come *implicita*.

Discuteremo ora il problema dell'assimilazione del fatto complessivo in fisica in un concetto di legge di questo genere.

Appendice: ordine implicato ed esplicato nelle leggi fisiche

A.1 Introduzione

In questa 'Appendice' daremo una forma più matematica ai concetti di ordine implicato ed esplicato precedentemente introdotti.

È importante tuttavia sottolineare che la matematica e la fisica non sono qui considerate due strutture separate in rapporto fra loro (nel senso, per esempio, in cui si potrebbe pensare di applicare la matematica alla fisica come si applica al legno uno strato di vernice). Vogliamo invece suggerire che esse vadano considerate come aspetti di un'unica totalità indivisa.

Nello studio di questa totalità, partiamo dal linguaggio descrittivo generale usato in fisica; poi *matematizziamo* questo linguaggio, cioè lo articoliamo o definiamo in maggior dettaglio, così da permettere affermazioni più precise, da cui sia possibile trarre un ampio spettro di deduzioni significative in modo chiaro e coerente.

Affinché il linguaggio descrittivo generale e la sua matematizzazione possano funzionare insieme coerentemente e armoniosamente, questi due aspetti dovranno assomigliarsi in certi modi cruciali, benché naturalmente essi saranno anche differenti per altri versi (particolarmente nel senso che l'aspetto matematico ha più possibilità dal punto di vista della precisione deduttiva). Dall'esame di queste somiglianze e differenze può nascere quello che possiamo chiamare un 'dialogo', in cui si creano nuovi significati comuni ai due aspetti. È in questo 'dialogo' che possiamo cogliere l'unità del linguaggio generale e della sua matematica.

In questa 'Appendice' mostreremo perciò, sia pure in modo molto preliminare e provvisorio, come si possa matematizzare il linguaggio generale per sviluppare ordini implicati ed esplicati in modo coerente e armonioso.

A.2 Sistemi euclidei di ordine e misura

Cominciamo con la descrizione matematica dell'ordine esplicato.

L'ordine esplicato sorge in primo luogo come un certo aspetto della percezione sensoriale e dell'esperienza che facciamo del suo contenuto. Possiamo aggiungere che in fisica esso si manifesta in genere nei risultati sensorialmente osservabili del funzionamento di uno strumento.

Ciò che tutti gli strumenti usati nella ricerca fisica hanno in comune è il fatto che il risultato percettibile di un'osservazione è in ultima analisi descrivibile in termini di un sistema euclideo di ordine e misura, cioè può venire adeguatamente compreso in termini della ordinaria geometria euclidea. Cominceremo pertanto esaminando i sistemi euclidei di ordine e misura.

Adottando il punto di vista di Klein, che descrive le caratteristiche determinanti di una geometria per mezzo delle sue trasformazioni generali, possiamo individuare nello spazio euclideo a tre dimensioni tre operatori di traslazione D_i. Ciascuno di questi operatori definisce un insieme di linee parallele che si trasformano in se stesse per effetto dell'operazione in questione. Poi ci sono tre operatori di rotazione R_i. Ciascuno di essi definisce un insieme di cilindri concentrici intorno all'origine che si trasformano in se stessi per effetto della rotazione corrispondente. Insieme, i tre operatori definiscono un insieme di sfere concentriche che si trasformano in se stesse per effetto di una rotazione qualsiasi. Infine c'è l'operatore di dilatazione R_0, che trasforma una di queste sfere in una sfera di raggio diverso e lascia invarianti le rette passanti per l'origine.

Da un insieme di operatori R_i, R_0 otteniamo un altro insieme di operatori R'_i, R'_0 corrispondente a un centro di rotazione diverso per mezzo di una traslazione

$$(R'_i,\ R'_0) = D_j(R_i,\ R_0)\ D_j^{-1}.$$

Da un insieme D_i otteniamo invece un insieme di traslazioni in nuove direzioni per mezzo di una rotazione

$$D'_i = R_j D_j R_j^{-1}.$$

Ora, se D_i è una certa traslazione, $(D_i)^n$ è una traslazione fatta di n passi simili. Questo significa che le traslazioni ammettono un ordine naturale simile a quello dei numeri interi. Perciò possiamo descriverle per mezzo di una scala *numerica*. Questo genera non solo un *ordine*, ma anche una *misura*.

Analogamente, ogni rotazione R_i determina una serie ordinata e misurata di rotazioni $(R_i)^n$ e una dilatazione R_0 determina una serie ordinata e misurata di rotazioni $(R_0)^n$.

È chiaro che queste operazioni determinano il significato di parallelismo e perpendicolarità, nonché quello di congruenza e similitudine di figure geometriche. Perciò esse determinano le caratteristiche essenziali di una geometria euclidea, con il suo intero sistema di ordine e misura. Ma è l'insieme delle operazioni che ora consideriamo primariamente rilevante, mentre gli elementi statici (cioè le rette, i cerchi, i triangoli, eccetera) vengono ora considerati semplicemente come 'sottospazi invarianti' delle operazioni e configurazioni formate a partire da questi sottospazi.

A.3 Trasformazione e metamorfosi

Parliamo ora della descrizione matematica dell'ordine implicato. L'ordine implicato non può essere in generale descritto per mezzo di semplici trasformazioni geometriche, come traslazioni, rotazioni e dilatazioni, bensì richiede un diverso tipo di operazione. Per chiarezza riserveremo il nome *trasformazione* alla descrizione di una semplice operazione geometrica *entro* un dato ordine esplicato. Quello che succede nel contesto più ampio dell'ordine implicato lo chiameremo invece *metamorfosi*. La parola indica che il cambiamento è molto più radicale di un cambiamento di posizione o di orientamento di un corpo rigido ed è per certi versi più simile alla metamorfosi di un bruco in una farfalla (in cui tutto cambia drasticamente, mentre restano invarianti solo certe caratteristiche sottili e altamente implicite). Evidentemente il passaggio da un oggetto illuminato al suo ologramma (o da una gocciolina di inchiostro alla massa grigia che si ottiene mescolando il fluido) va descritto come una metamorfosi anziché come una trasformazione.

Indicheremo una metamorfosi con il simbolo M, una trasformazione con il simbolo T e l'insieme delle trasformazioni (D_i, R_i, R_0) rilevante in un dato ordine esplicato con il simbolo E. Per effetto di una metamorfosi l'insieme E si trasforma in un altro insieme E' dato da

$$E' = MEM^{-1}.$$

Questa è detta in genere 'trasformazione di similitudine', ma d'ora innanzi la chiameremo 'metamorfosi di similitudine'.

Per mostrare le caratteristiche essenziali di una metamorfosi di similitudine consideriamo l'esempio dell'ologramma. In questo caso la metamorfosi appropriata è determinata dalla funzione di Green che collega le ampiezze dell'onda luminosa sulla superficie della struttura illuminata a quelle sulla lastra fotografica. Per onde con una data frequenza ω la funzione di Green è

$$G(\mathrm{x} - \mathrm{y}) \simeq \{\exp[i(\omega/c) \mid \mathrm{x} - \mathrm{y} \mid]\}/\mid \mathrm{x} - \mathrm{y} \mid$$

dove x è una coordinata rilevante per la struttura illuminata e y una coordinata rilevante per la lastra. Allora, se l'ampiezza dell'onda sulla struttura illuminata è $A(\mathrm{x})$, l'ampiezza $B(\mathrm{y})$ sulla lastra fotografica è data da

$$B(\mathrm{y}) \simeq \int (\{\exp[i(\omega/c) \mid \mathrm{x} - \mathrm{y} \mid]\}/\mid \mathrm{x} - \mathrm{y} \mid)\, A\,(\mathrm{x})\, d\mathrm{x}.$$

Questa equazione mostra che l'intera struttura illuminata viene 'trasportata' e 'inviluppata' in ciascuna regione della lastra in un modo che non può evidentemente essere descritto in termini di una trasformazione o corrispondenza puntuale fra x e y. La matrice $M(\mathrm{x,y})$, che è data essenzialmente da $G(\mathrm{x-y})$, può pertanto venir detta una metamorfosi delle ampiezze sulla struttura illuminata nelle ampiezze sulla lastra fotografica.

Consideriamo ora la relazione fra le trasformazioni E della struttura illuminata e i concomitanti cambiamenti nell'ologramma. Sulla superficie della struttura illuminata E rappresenta una corrispondenza puntuale, in cui un intorno di punti locale si trasforma in un intorno di punti locale. Il cambiamento corrispondente nell'ologramma è $E' = MEM^{-1}$. Questa non è *nell'ologramma* una corrisponden-

za puntuale che conservi la località: ogni parte dell'ologramma cambia in un modo che dipende da ogni altra parte. Ciononostante, il cambiamento E' nell'ologramma evidentemente individua il cambiamento E nella struttura (come si vede quando l'ologramma è illuminato con luce laser).

Analogamente nel contesto quantistico una trasformazione unitaria (per esempio, definita da una funzione di Green che opera sul vettore di stato) può essere vista come una metamorfosi che 'inviluppa' le trasformazioni puntuali dello spazio-tempo che conservano la località in operazioni più generali, che, pur essendo *simili* alle trasformazioni di partenza nel senso definito sopra, non sono trasformazioni puntuali che conservano la località.

A.4 Matematizzazione della descrizione dell'ordine implicato

Il passo successivo consiste nel discutere la matematizzazione del linguaggio usato nella descrizione dell'ordine implicato.

Consideriamo una metamorfosi M. Applicandola ripetutamente, otteniamo M^n, che descrive l'inviluppo di una struttura n volte. Scrivendo $Q_n = M^n$, abbiamo:

$$Q_n : Q_{n-1} = Q_{n-1} : Q_{n-2} = M.$$

I Q_n presentano perciò una serie di differenze simili (anzi le differenze sono non solo simili, ma tutte uguali a M). Come indicato nel capitolo 5, una tale serie di differenze simili costituisce un *ordine*. Poiché sono differenze nel grado di implicazione, l'ordine è un ordine implicato. Inoltre, se le successive operazioni M sono considerate equivalenti, vi è anche una *misura*, in cui n può essere considerato un parametro d'implicazione.

Se pensiamo all'esempio delle goccioline d'inchiostro mescolate in un fluido viscoso e identifichiamo M con l'inviluppo della gocciolina prodotto da un certo numero di giri del mescolatore, M^n rappresenta il cambiamento prodotto da n operazioni cosiffatte. Ogni gocciolina viene immessa in una posizione leggermente traslata rispetto alla precedente: indichiamo con D questa traslazione. L'n-esima gocciolina subisce prima la traslazione D^n e poi la metamorfosi M^n, onde il risultato è M^nD^n. Supponiamo ora che la densità di ciascuna gocciolina sia variabile e sia espressa da un coefficiente C_n. L'operatore Q corrispondente all'intera serie di goccioline si ottiene allora sommando il contributo di ciascuna:

$$Q = \sum_n C_n M^n D^n.$$

Inoltre è possibile sovrapporre varie strutture, corrispondenti a Q, Q', Q'', ..., ottenendo:

$$R = Q + Q' + Q'' + \ldots$$

La struttura risultante può a sua volta subire una traslazione D e una metamorfosi M, fornendo

$$R' = MDR$$

Se poi il fluido fosse già uno sfondo 'uniformemente grigio', potremmo considerare anche coefficienti C_n negativi e interpretarli come indicanti la *rimozione* di una certa quantità di inchiostro dalla regione corrispondente a una gocciolina (anziché l'aggiunta di essa).

In questa descrizione ogni simbolo matematico corrisponde a un'operazione (trasformazione e/o metamorfosi). Hanno significato la somma di operazioni, la moltiplicazione per un numero C e il prodotto di operazioni. Se introduciamo anche un'operazione unità (il cui prodotto con qualsiasi operazione lascia quest'ultima inalterata) e un'operazione zero (che sommata a qualsiasi operazione la lascia inalterata), abbiamo soddisfatto tutte le condizioni che definiscono un'algebra.

Vediamo dunque che un'algebra ha caratteristiche fondamentali simili a quelle delle strutture costruite su un ordine implicato. Essa permette perciò una *matematizzazione rilevante* degli ordini implicati, che può essere coerentemente messa in rapporto con il linguaggio descrittivo generale relativo a tali ordini.

Ora, anche nella teoria quantistica un'algebra simile a quella sopra descritta svolge un ruolo fondamentale. La teo-

ria infatti è espressa in termini di operatori lineari (compreso un operatore unità e un operatore zero) che possono essere sommati, moltiplicati per un numero e moltiplicati fra loro. L'intero contenuto della teoria quantistica può essere formulato in termini di un'algebra degli operatori.

Nella teoria quantistica i termini algebrici sono interpretati come rappresentazioni delle corrispondenti 'osservabili fisiche'. Nell'approccio che suggeriamo qui, invece, essi non rappresentano nulla in particolare. Vanno piuttosto considerati estensioni del linguaggio generale. Un singolo simbolo algebrico è simile a una parola, nel senso che il suo significato implicito emerge solo attraverso l'uso del linguaggio nella sua totalità.

Questo approccio viene usato in molta matematica moderna[4], soprattutto nella teoria dei numeri. Si parte da un insieme di *simboli* che vengono considerati *indefinibili*. Il significato di questi simboli non è mai direttamente rilevante. Sono rilevanti solo le relazioni e le operazioni a cui essi prendono parte.

Quel che proponiamo qui è che matematizzare il linguaggio nel modo indicato farà emergere in seno al linguaggio strutture simili (ma anche diverse) rispetto agli ordini, alle misure e alle strutture percepite nell'esperienza comune e nella sperimentazione scientifica. Come indicato sopra, fra questi due tipi di ordini, misure e strutture può esservi una relazione, cosicché ciò che pensiamo e diciamo abbia un rapporto, una *ratio* o ragione comune, con quello che possiamo osservare e fare (per una discussione di questo senso di *ratio* o ragione, *vedi* il capitolo 5).

Questo significa naturalmente che non consideriamo termini come 'particella', 'carica', 'massa', 'posizione', 'quantità di moto', eccetera, come dotati di rilevanza primaria nel linguaggio algebrico. Essi emergeranno tutt'al più come astrazioni di alto livello. Il significato reale dell'algebra quantistica sarà allora quello di costituire una matematizzazione del linguaggio generale che lo arricchisce e rende possibile una discussione dell'ordine implicato più precisamente articolata.

Naturalmente l'algebra in se stessa è una forma di matematizzazione limitata. Non c'è nessuna ragione di principio per cui non dovremmo un giorno passare ad altri tipi

di matematizzazione (basati, per esempio, su anelli e reticoli, oppure su altre strutture più generali non ancora create). Tuttavia vedremo in questa 'Appendice' che anche entro i limiti di una struttura algebrica è possibile assimilare un'ampia gamma di aspetti della fisica moderna e aprire molte vie nuove e interessanti da esplorare. È perciò utile addentrarci in maniera un po' più dettagliata nella matematizzazione algebrica del linguaggio ordinario, prima di studiare tipi di matematizzazione più generali.

A.5 L'algebra e l'olomovimento

Cominciamo la nostra esplorazione della matematizzazione algebrica del linguaggio generale richiamando l'attenzione al fatto che il significato primario di un simbolo algebrico è il fatto che descrive un certo tipo di movimento.

Consideriamo perciò un insieme di termini algebrici indefinibili che indichiamo con A. È caratteristico di un'algebra che questi termini stanno fra loro in una relazione tale che

$$A_i A_j = \sum_k \lambda_{ij}^k A_k$$

dove λ_{ij}^k è un insieme di costanti numeriche. Ciò significa che quando un termine A_i viene applicato a un termine A_j il risultato è equivalente a una 'somma pesata' o sovrapposizione di termini (onde un'algebra contiene una specie di 'principio di sovrapposizione' simile per certi versi a quello della teoria quantistica). In effetti si può dire che, benché il singolo termine A_i sia 'in sé' indefinibile, esso corrisponde tuttavia ad una specie di 'movimento' dell'insieme complessivo di termini che trasporta (o trasforma) il simbolo A_j nella sovrapposizione $\Sigma\lambda_{ij}^k A_k$.

Come abbiamo già detto, tuttavia, nel linguaggio generale che descrive l'ordine implicato la totalità in cui tutto ciò di cui si può parlare viene rilevato è l'immisurabile e indefinibile olomovimento. Analogamente, nella matematizzazione algebrica di questo linguaggio, assumeremo come totalità un'algebra indefinibile in cui il significato primario di ciascun termine è quello di indicare un 'movimento globale' in tutti i termini dell'algebra. Questa cruciale somi-

glianza permette di matematizzare coerentemente un tipo di descrizione che assume come totalità l'indefinibile e immisurabile olomovimento.

Possiamo ora sviluppare ulteriormente queste idee. Come nel linguaggio generale possiamo prendere in considerazione aspetti relativamente autonomi dell'olomovimento, così nella sua matematizzazione possiamo considerare delle sottoalgebre relativamente autonome che sono aspetti dell'indefinibile 'algebra totale'. Come ogni aspetto dell'olomovimento è in ultima analisi limitato nella sua autonomia dalla legge del tutto (cioè dall'olonomia), così ogni sottoalgebra è limitata nella sua autonomia dal fatto che la legge rilevante comporta movimenti che escono dal campo di quelli descrivibili per mezzo della sottoalgebra in questione.

Un dato contesto fisico sarà allora descritto da un'appropriata sottoalgebra. Avvicinandoci ai limiti di questo contesto, scopriremo che tale descrizione è inadeguata e prenderemo in considerazione algebre più ampie fino a trovare una descrizione adeguata per il nuovo contesto a cui siamo stati condotti.

Nel contesto della fisica classica, per esempio, è possibile astrarre una sottoalgebra corrispondente a un insieme di operazioni euclidee E. Tuttavia in un contesto quantistico la 'legge del tutto' comporta delle metamorfosi M che portano fuori da questa sottoalgebra in sottoalgebre diverse (ma simili) date da

$$E' = MEM^{-1}.$$

Come abbiamo visto, ci sono ora indicazioni che anche l'algebra quantistica sia inadeguata in contesti ancora più ampi. Perciò è naturale passare a considerare algebre più ampie (e ad un certo punto, naturalmente, anche matematizzazioni di tipo ancora più generale che possono risultare rilevanti).

A.6 Estensione del principio di relatività agli ordini implicati

Come primo passo nella ricerca di forme di matematizzazione più ampie, indicheremo la possibilità di una certa estensione del principio di relatività agli ordini implicati. Questa estensione è suggerita dal modo in cui l'algebra

quantistica limita l'autonomia dell'algebra classica nel senso sopra descritto.

Nel contesto classico una qualsiasi struttura può essere specificata da un insieme di operazioni E_1, E_2, E_3, ... (che descrivono lunghezze, angoli, congruenze, similitudini, eccetera). Passando a un contesto quantistico più ampio, troviamo operazioni simili $E' = MEM^{-1}$. Il significato di questa similitudine è che, se due elementi, diciamo E_1 ed E_2, stanno fra loro in una certa relazione nella descrizione di una data struttura, ci sono due elementi E_1' ed E_2' che descrivono trasformazioni 'inviluppate' nonlocali che stanno fra loro in una relazione simile. Formulando la cosa in maniera più concisa,

$$E_1 : E_2 :: E_1' : E_2'.$$

Da ciò segue che, se abbiamo un dato sistema euclideo di ordine e misura sul quale sono costruite certe strutture, possiamo sempre ottenere un altro sistema E', inviluppato rispetto a E, che ammette tuttavia la costruzione di strutture simili.

Finora il principio di relatività è stato formulato in un modo che si può esprimere così: 'Data una qualsiasi relazione strutturale descritta in un sistema di coordinate corrispondente a una certa velocità, è sempre possibile avere una relazione strutturale simile descritta in un sistema di coordinate corrispondente a una qualsiasi altra velocità'. La discussione precedente mostra che la matematizzazione del linguaggio generale in termini di algebra quantistica apre la possibilità di un'estensione del principio di relatività. Tale estensione è simile al principio di complementarità, nel senso che quando le condizioni sono tali che un certo ordine corrispondente a un insieme di operazioni E è esplicato l'ordine corrispondente all'insieme di operazioni simili $E' = MEM^{-1}$ è implicato (cosicché in un certo senso i due ordini non possono essere definiti insieme). Ma è diversa dal principio di complementarità nel senso che pone l'accento sugli ordini e sulle misure rilevanti per una certa geometria, anziché su configurazioni sperimentali mutualmente incompatibili.

Da questa estensione del principio di relatività segue che

l'idea dello spazio come costituito da un unico e ben definito insieme di punti, legati topologicamente da un insieme di intorni e metricamente da una definizione di distanza, non è più adeguata. Infatti ogni insieme di operazioni euclidee *E'* definisce un insieme di punti, intorni, misure, eccetera, implicati rispetto a quelli definiti da un altro insieme di operazioni *E*. Il concetto di spazio come insieme di punti dotato di una topologia e di una metrica è perciò soltanto un aspetto di una totalità più ampia.

Sarà utile qui introdurre un ulteriore nuovo uso del linguaggio. In topologia si può descrivere uno spazio come ricoperto da un complesso, costituito da figure elementari (per esempio, triangoli o altre celle poligonali base) ciascuna delle quali viene detta simplesso. La forma 'plesso' deriva dal latino *plicare*, che, come abbiamo già visto, significa 'piegare'. Perciò 'simplesso' significa 'una piega' e 'complesso' significa 'piegato insieme', nel senso in cui vari oggetti separati vengono congiunti l'uno all'altro.

Per descrivere l'inviluppo di un insieme illimitato di sistemi euclidei di ordine e misura l'uno nell'altro possiamo allora introdurre la parola *multiplesso* (nuova in questo contesto), che significa 'molti complessi piegati insieme'. Letteralmente questo è anche il significato del termine inglese *manifold* (in italiano 'varietà'), che nell'uso matematico tuttavia ha assunto il significato di 'spazio topologico localmente euclideo'. Perciò ci serviremo della parola 'multiplesso' per sottolineare la rilevanza primaria dell'ordine implicato e l'inadeguatezza di una descrizione in termini di 'varietà'.

Finora lo spazio è stato in generale considerato come una varietà che può essere ricoperta da un complesso (che rappresenta evidentemente una forma di ordinamento esplicato). Tale complesso può essere descritto in termini di sistemi di coordinate. Ogni simplesso viene descritto per mezzo di un sistema di riferimento localmente euclideo e l'intero spazio può essere allora trattato in termini di molte 'pezze' di coordinate locali che si sovrappongono fra loro. Oppure, come alternativa, può esservi un unico sistema di coordinate curvilinee applicabile all'intero spazio. Il principio di relatività afferma allora che tutti questi sistemi di

coordinate forniscono sistemi descrittivi equivalenti (per esprimere *ratio*, cioè rapporti, leggi).

Possiamo ora considerare due insiemi di operazioni simili, *E* ed *E'*, implicati l'uno rispetto all'altro. Come abbiamo detto, possiamo estendere il principio di relatività supponendo che gli ordini definiti da due qualsiasi insiemi di operazioni *E* ed *E'* siano fra loro equivalenti, cioè che la 'legge del tutto' sia tale da permettere di costruire sui due ordini strutture simili. Per chiarire che cosa intendiamo con questo, notiamo che in generale consideriamo gli ordini del movimento direttamente percepibili dai sensi come esplicati, mentre altri ordini (come quello appropriato alla descrizione di 'un elettrone' nel contesto quantistico) vengono considerati implicati. Ma, in base al principio di relatività esteso, è altrettanto corretto assumere l'ordine dell'elettrone come esplicato e il nostro ordine sensoriale come implicato. Questo corrisponde a metterci (metaforicamente) nella situazione dell'elettrone e a comprenderlo assimilandoci a esso (e assimilandolo a noi).

Questo significa evidentemente pensare radicalmente in termini di totalità. Come detto in precedenza, 'tutto implica tutto'; fino al punto che 'noi stessi' siamo implicati insieme con 'tutto quello che vediamo e a cui pensiamo'. Perciò siamo presenti dovunque ed in ogni istante, benché solo in maniera implicata (cioè implicita).

Lo stesso vale per ogni 'oggetto'. Solo in certi speciali ordini di descrizione l'oggetto appare esplicato. La legge generale, vale a dire l'olonomia, va espressa in termini di tutti gli ordini, in cui tutti gli oggetti e tutti i tempi sono 'piegati insieme'.

A.7 Alcuni suggerimenti preliminari sulla legge in un multiplesso

Daremo ora alcuni suggerimenti preliminari riguardo alla ricerca di una legge generale formulata in termini di multiplesso anziché di varietà.

Cominciamo ricordando che le descrizioni classiche sono rilevanti solo in un contesto in cui l'espressione della legge è limitata a una particolare sottoalgebra corrispondente a un dato sistema euclideo di ordine e misura. Se il sistema viene esteso al tempo, oltre che allo spazio, una legge co-

siffatta può essere compatibile con la relatività speciale.

La caratteristica essenziale della relatività speciale è il fatto che la velocità della luce rappresenti un limite invariante per la propagazione di segnali (e di influenze causali). A questo proposito notiamo che un segnale è sempre costituito da un certo ordine esplicato di eventi; quando questo ordine esplicato cessa di essere rilevante, cessa di essere rilevante anche il concetto di segnale. (Per esempio, se un certo ordine è implicato in tutto lo spazio ed il tempo non può essere coerentemente considerato come un segnale che trasmette informazione da un luogo all'altro in un certo intervallo di tempo.) Questo significa che il linguaggio descrittivo della relatività speciale non si applica in generale agli ordini implicati.

La relatività generale assomiglia alla relatività speciale nel senso che in ogni regione dello spazio-tempo c'è un cono di luce che definisce una velocità limite per i segnali, mentre differisce da essa per il fatto che ciascuna regione ha un proprio sistema di coordinate locale (che possiamo indicare con m) legato al sistema di coordinate locale di una regione vicina (che indichiamo con n) da certe trasformazioni lineari generali T_{mn}. Dal nostro punto di vista un sistema di coordinate locale è espressione di un corrispondente sistema euclideo di ordine e misura E (che genera, per esempio, le linee del sistema di coordinate in questione come sottospazi invarianti delle sue operazioni). Perciò consideriamo i sistemi euclidei di operazioni E_m ed E_n e le trasformazioni che li legano:

$$E_n = T_{mn} E_m T_{mn}^{-1}.$$

Quando consideriamo una serie di trasformazioni di questi sistemi lungo un circuito chiuso di 'pezze' di coordinate locali, arriviamo a quello che matematicamente viene chiamato 'gruppo di olonomia'. In un certo senso questo nome è appropriato, perché il gruppo determina in effetti il carattere 'dell'intero spazio'. Nella relatività generale questo gruppo è equivalente al gruppo di Lorentz, che è compatibile con il requisito dell'invarianza del cono di luce locale. Sostituirlo con un gruppo diverso implicherebbe naturalmente un diverso carattere 'dell'intero spazio'.

In un altro senso, tuttavia, sarebbe meglio considerare questo gruppo un 'gruppo di autonomia', anziché un 'gruppo di olonomia', perché nella relatività generale (come in un'ampia classe di moderne teorie dei campi) la legge generale è invariante rispetto ad arbitrarie trasformazioni di gauge dei sistemi di riferimento locali in ciascuna regione, $E_m' = R_m E_m R_m^{-1}$. Il significato di queste trasformazioni si capisce se si considerano diverse regioni vicine, ciascuna contenente una struttura localizzata (cioè una struttura connessa in maniera trascurabile alle strutture vicine, cosicché è lecito considerare lo spazio interposto come vuoto o approssimativamente vuoto). Il significato dell'invarianza di gauge è allora il fatto che due strutture qualsiasi possono essere trasformate indipendentemente l'una dall'altra, almeno entro certi limiti (per esempio, purché ci sia abbastanza 'spazio vuoto' nel mezzo). Un esempio di questa relativa autonomia è il fatto che oggetti non troppo vicini tra loro possono essere ruotati e traslati l'uno rispetto all'altro. Evidentemente è questa particolare caratteristica della 'legge del tutto' (l'invarianza di gauge) che permette la relativa autonomia del tipo descritto sopra.

Passando a un contesto quantistico, la 'legge del tutto' (cioè la generalizzazione di quello che viene indicato come 'gruppo di olonomia' nella geometria riemanniana) include delle metamorfosi M oltre alle trasformazioni T. Questo ci porta a considerare un multiplesso, in cui sono rilevanti nuovi tipi di ordine e misura.

È importante tuttavia sottolineare che la 'legge del tutto' non sarà una semplice trascrizione dell'attuale teoria quantistica in un nuovo linguaggio. Piuttosto, occorrerà assimilare l'intero contesto della fisica (classica e quantistica) in una diversa struttura, che comporterà nuovi modi di descrivere lo spazio, il tempo, la materia ed il movimento. Questa assimilazione ci porterà a esplorare nuove direzioni di ricerca, che non sono neppure pensabili in termini delle teorie attuali.

Indicheremo qui solo alcune delle molte possibilità di questo genere.

In primo luogo ricordiamo che, partendo da un'indefinibile algebra totale, da essa estraiamo delle sottoalgebre appropriate in certi contesti della ricerca fisica. Ora, i mate-

matici hanno già trovato certe caratteristiche interessanti e potenzialmente rilevanti di tali sottoalgebre.

Per esempio, consideriamo una data sottoalgebra A. Fra i suoi termini A_i possono esservene alcuni A_N che sono nilpotenti, vale a dire tali che una qualche potenza di A_N (diciamo $A_N{}^s$) sia nulla. Fra di essi può esservi un ulteriore sottoinsieme di termini A_P che sono *propriamente nilpotenti*, cioè tali da restare nilpotenti moltiplicati per qualsiasi termine A_i dell'algebra, $(A_iA_P)^s = 0$.

Per esempio, in un'algebra di Clifford ogni termine è propriamente nilpotente. In un'algebra fermionica con termini C_i e C_j^*, invece, ciascun termine è nilpotente (vale a dire, $(C_i)^2 = (C_j^*)^2 = 0$), ma non propriamente nilpotente (vale a dire, $(C_i^* C_j)^2 \neq 0$).

Si può dire che i termini propriamente nilpotenti descrivano movimenti che portano in senso ultimo a caratteristiche che svaniscono. Perciò, se cerchiamo di descrivere caratteristiche invarianti e relativamente permanenti del movimento, dobbiamo avere un'algebra senza termini propriamente nilpotenti. Un'algebra cosiffatta è sempre ottenibile da un'algebra qualsiasi A per sottrazione dei termini propriamente nilpotenti, ottenendo quella che si chiama l'*algebra differenza*.

Consideriamo ora il seguente teorema[5]: ogni algebra differenza può essere espressa come prodotto di un'algebra matriciale (vale a dire di un'algebra le cui regole di moltiplicazione sono analoghe a quelle delle matrici) e di un'algebra divisoria (vale a dire di un'algebra in cui il prodotto di due termini non nulli non è mai nullo).

Per quanto riguarda l'algebra divisoria, i tipi possibili dipendono dal campo a cui appartengono i suoi coefficienti numerici. Se il campo è quello dei numeri reali, ci sono esattamente tre algebre divisorie: i numeri reali stessi, un'algebra di ordine due equivalente ai numeri complessi e l'algebra dei quaternioni reali. D'altro canto sul campo dei numeri complessi la sola algebra divisoria è quella dei numeri complessi stessi (questo spiega perché i quaternioni, estesi ad includere coefficienti complessi, diventano un'algebra matriciale a due righe).

È significativo che, matematizzando il linguaggio generale in termini di un'algebra inizialmente indefinita e non

specificata, arriviamo naturalmente al tipo di algebre usate nell'attuale teoria quantistica per descrivere le 'particelle con spin': vale a dire a prodotti di matrici e quaternioni. Queste algebre hanno inoltre, tuttavia, un significato che va al di là dei calcoli tecnici della teoria quantistica. Per esempio, i quaternioni comportano l'invarianza rispetto a un gruppo di trasformazioni simili alle rotazioni nello spazio tridimensionale (che può essere estesa in modo semplice a gruppi simili al gruppo di Lorentz). Questo indica che, in un certo senso, le trasformazioni cruciali che determinano l'ordine (3+1)-dimensionale dello 'spaziotempo relativistico' sono già contenute nell'olomovimento, descritto in termini di ordine implicato e matematizzato in forma algebrica.

Più precisamente possiamo dire che, partendo da una matematizzazione algebrica generale del linguaggio e cercando quelle caratteristiche che sono relativamente permanenti o invarianti (descritte da algebre senza termini propriamente nilpotenti) e quelle caratteristiche che non sono limitate a una scala particolare (descritte da algebre i cui termini possono essere moltiplicati per un numero reale arbitrario), arriviamo a trasformazioni che determinano un ordine equivalente a quello dello spaziotempo relativistico. Questo significa, tuttavia, che se considerassimo caratteristiche impermanenti e non invarianti (corrispondenti ad algebre con termini propriamente nilpotenti) e caratteristiche limitate a scale particolari (corrispondenti ad algebre sul campo dei numeri razionali o su campi numerici finiti), ordini interamente nuovi, non riducibili a un ordine (3+1)-dimensionale, potrebbero diventare rilevanti. È chiaro perciò che c'è qui un vasto territorio che può essere esplorato.

Un'ulteriore area da esplorare potrebbe essere lo sviluppo di una descrizione che combini gli aspetti classici e quantistici in un'unica e più ampia struttura di linguaggio. Invece di considerare i linguaggi classico e quantistico come separati e legati fra loro da un certo principio di corrispondenza (come viene fatto nelle teorie attuali), è possibile studiare, seguendo le linee indicate in questa 'Appendice', la possibilità di ottenerli come astrazioni e come casi limite di un linguaggio matematizzato in termini di un'algebra più ampia. Fare ciò può evidentemente portare a nuove teo-

rie, con un contenuto che va al di là di quello sia della teoria classica sia della teoria quantistica. A questo proposito sarebbe particolarmente interessante scoprire strutture algebriche che contengano come casi limite anche concetti relativistici (per esempio in termini di algebre su campi numerici finiti, anziché su quello dei numeri reali). Ci si può aspettare che queste teorie siano libere dal problema degli infiniti che si presentano nelle teorie attuali e che portino a una trattazione generalmente coerente dei problemi che le teorie attuali non sono in grado di risolvere.

NOTE

[1] Per una presentazione molto chiara di questa concezione *vedi* T. Kuhn *The Nature of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1955.

[2] J. Piaget *The Origin of Intelligence in the Child*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1956.

[3] *Vedi* D. Bohm, B. Hiley e A. Stuart 'Progr. Theoret. Phys.', vol. 3, 1970, pag. 171, dove questa descrizione di un contenuto percepito come intersezione di due ordini viene applicata in un contesto diverso.

[4] *Vedi* per esempio D.F. Littlewood *The Skeleton Key of Mathematics*, Hutchinson, Londra, 1960.

[5] *Vedi* per esempio *ibid.*

7

L'inviluppo-sviluppo dell'universo e la coscienza

1. Introduzione

Il tema centrale di tutto questo libro è l'indivisa interezza della totalità dell'esistenza nel suo fluido movimento unitario senza confini.

Sembra chiaro, in base alla discussione del capitolo precedente, che l'ordine implicato è particolarmente adatto a comprendere questa indivisa interezza in fluido movimento, perché in esso la totalità dell'esistenza è inviluppata in ogni regione dello spazio (e del tempo). Perciò, qualsiasi elemento o aspetto della totalità possiamo astrarre con il pensiero, esso inviluppa il tutto ed è intrinsecamente legato alla totalità da cui è stato astratto. La totalità perciò permea fin dall'origine tutto ciò di cui abbiamo parlato.

In questo capitolo daremo una presentazione non tecnica delle caratteristiche principali dell'ordine implicato, dapprima così come esso si presenta nella fisica, poi come può essere esteso al campo della coscienza, indicando alcune linee generali di una concezione che comprende cosmo e coscienza come un'unica indivisa totalità di movimento[1].

2. Contrapposizione fra ordine meccanicistico in fisica e ordine implicato

Può essere utile cominciare riassumendo alcuni dei punti principali discussi in precedenza e confrontando l'ordine meccanicistico generalmente accettato nella fisica con l'ordine implicato.

Consideriamo dapprima l'ordine meccanicistico. Come abbiamo visto nei capitoli 1 e 5, la caratteristica principale

di quest'ordine è il fatto di considerare il mondo come costituito da enti *esterni l'uno all'altro*, cioè esistenti indipendentemente in regioni diverse dello spazio (e del tempo) e interagenti attraverso forze che non ne mutano la natura essenziale. Una macchina fornisce un'illustrazione tipica di questo tipo di ordine. Ciascuna parte della macchina viene prodotta (per esempio per fusione) indipendentemente dalle altre e interagisce con esse solo attraverso qualche tipo di contatto esterno. Al contrario in un organismo vivente ciascuna parte si sviluppa nel contesto del tutto, cosicché non esiste indipendentemente, né si può dire che si limiti a 'interagire' con le altre parti senza venire essa stessa trasformata nel rapporto.

Come abbiamo visto nel capitolo 1, la fisica ha adottato quasi completamente la concezione di un ordine dell'universo essenzialmente meccanicistico. La forma più comune di questa concezione è l'assunzione che il mondo sia costituito da un insieme di 'particelle elementari', indivisibili, immutabili e separatamente esistenti, che sono i 'mattoni' fondamentali dell'universo. In origine si pensava che questi costituenti elementari fossero gli atomi. Poi si trovò che gli atomi potevano essere divisi in elettroni, protoni e neutroni. Si pensò allora che questi ultimi fossero gli immutabili e indivisibili costituenti della materia; ma anch'essi risultarono trasformarsi in centinaia di tipi diversi di particelle istabili. Oggi particelle ancora più piccole, dette quark e partoni, sono state postulate per spiegare queste trasformazioni. Benché esse non siano ancora state isolate, sembra che i fisici nutrano una fede incrollabile che queste particelle o qualche altro tipo di particelle ancora da scoprire permettano un giorno uno spiegazione completa e coerente di tutto.

La teoria della relatività è stata la prima importante indicazione della necessità di mettere in discussione l'ordine meccanicistico in fisica. Come abbiamo visto nel capitolo 5, essa implica l'impossibilità di formulare coerentemente il concetto di particella indipendentemente esistente, sia sotto forma di corpo esteso, sia sotto forma di punto privo di dimensioni. Perciò una delle assunzioni fondamentali sottostanti alla forma generalmente accettata di meccanicismo fisico è risultata insostenibile.

Per superare questo scoglio fondamentale Einstein propose di non attribuire più un ruolo primario al concetto di particella, bensì di considerare la realtà come costituita da campi che obbediscono a leggi compatibili con i requisiti della teoria della relatività. Una basilare novità di questa 'teoria di campo unificata' di Einstein è l'introduzione di equazioni di campo *nonlineari*. Come abbiamo visto nel capitolo 5, queste equazioni ammettono soluzioni che hanno la forma di impulsi localizzati, cioè regioni di particolare intensità del campo che si muovono stabilmente nello spazio come un tutto, e questi impulsi si prestano a fornire un modello di 'particella'. Essi non hanno confini netti, bensì si estendono a distanze arbitrariamente grandi con intensità decrescente. Perciò le strutture del campo associate con due diversi impulsi in realtà si fondono e scorrono insieme come una totalità indivisa. Inoltre quando i due impulsi si avvicinano le originarie forme 'particellari' vengono alterate tanto radicalmente che non resta più alcuna sembianza di una struttura costituita da due particelle. Perciò in questa concezione l'idea di particelle esistenti separatamente e indipendentemente risulta essere tutt'al più un'astrazione capace di fornire un'approssimazione valida in un ambito limitato. In ultima istanza l'intero universo (con tutte le sue 'particelle', comprese quelle che costituiscono gli esseri umani, i loro laboratori, i loro strumenti di misura, eccetera) va considerato come un'unica totalità indivisa, la cui analisi in parti esistenti separatamente e indipendentemente non ha un senso fondamentale.

Come abbiamo visto nel capitolo 5, tuttavia, Einstein non riuscì a dare alla sua teoria di campo unificata una formulazione coerente e soddisfacente. Inoltre (cosa forse ancora più importante nel contesto della nostra discussione dell'approccio meccanicistico in fisica) il concetto di campo, che è il punto di partenza della teoria, conserva le caratteristiche fondamentali di un ordine meccanicistico: i campi sono ancora concepiti come esterni l'uno all'altro, localizzati in punti diversi dello spazio e del tempo e legati da relazioni esterne che si suppongono per lo più locali, nel senso che solo elementi di campo separati da distanze 'infinitesime' possono agire l'uno sull'altro[2].

Benché la teoria di campo unificata non sia riuscita a da-

re alla fisica un fondamento ultimo di tipo meccanicistico in termini del concetto di campo, essa ha tuttavia mostrato in modo concreto come una teoria compatibile con quella della relatività si possa costruire trasformando il concetto di particella in un'astrazione derivata da un'indivisa totalità dell'esistenza. In questo senso essa ha rafforzato la sfida che la teoria della relatività rappresenta per l'ordine meccanicistico dominante.

La teoria quantistica lancia all'ordine meccanicistico una sfida ancora più seria, che va di gran lunga al di là di quella costituita dalla teoria della relatività. Come abbiamo visto nel capitolo 5, le caratteristiche fondamentali della teoria quantistica che mettono in difficoltà il meccanicismo sono le seguenti.

1. Il movimento è in generale *discontinuo*, nel senso che l'azione è costituita da quanti indivisibili (il che implica anche che un elettrone, per esempio, possa passare da uno stato a un altro senza attraversare alcuno degli stati intermedi).

2. I vari enti, per esempio gli elettroni, presentano proprietà diverse (comportandosi come particelle, come onde o come una via di mezzo fra le due cose) a seconda del contesto in cui si trovano e in cui vengono osservati.

3. Due enti, per esempio elettroni, che inizialmente si combinano in una molecola e poi si separano, presentano una peculiare relazione nonlocale, che può essere descritta come una connessione acausale fra elementi lontani uno dall'altro[3] (come risulta dall'esperimento di Einstein, Podolsky e Rosen[4]).

Dovremmo aggiungere, naturalmente, il fatto che le leggi della meccanica quantistica sono statistiche e non determinano i singoli eventi futuri in maniera unica e precisa. Questa è naturalmente una differenza rispetto alle leggi classiche, che in linea di principio hanno invece un carattere deterministico. Ma l'indeterminismo non rappresenta una seria difficoltà per un ordine meccanicistico, cioè per un ordine i cui elementi fondamentali siano concepiti come indipendentemente esistenti, esterni l'uno all'altro e legati solo da relazioni esterne. Il fatto che, come in un biliardino elettrico, tali elementi siano legati da leggi casuali (espresse matematicamente in termini di probabilità) non cambia la fondamentale 'esteriorità' degli elementi[5] e perciò non influisce essenzialmente sul carattere meccanicistico dell'ordine in questione.

Le tre caratteristiche della meccanica quantistica sopra enunciate mostrano invece chiaramente l'inadeguatezza dei concetti meccanicistici. Se tutte le azioni sono quantizzate, le interazioni fra i vari enti (per esempio elettroni) formano un'unica struttura di legami indivisibili, cosicché l'intero universo va pensato come un tutto indiviso. In questo tutto ogni elemento che possiamo astrarre con il pensiero presenta proprietà fondamentali (di onda o particella, eccetera) che dipendono dal suo ambiente complessivo in un modo che ricorda molto di più il rapporto fra i vari organi di un organismo vivente che l'interazione fra le varie parti di una macchina. Inoltre la natura nonlocale e acausale della relazione che lega elementi fra loro distanti viola evidentemente i requisiti di separatezza e indipendenza dei costituenti fondamentali che sono tanto basilari in ogni approccio meccanicistico.

È istruttivo a questo punto confrontare le caratteristiche fondamentali delle teorie relativistica e quantistica. Come abbiamo visto, la teoria della relatività richiede continuità, rigoroso determinismo (causalità) e località. La teoria quantistica, d'altro canto, richiede discontinuità, acausalità e nonlocalità. Perciò i concetti fondamentali delle due teorie sono in diretta contraddizione. Non stupisce che queste due teorie non siano mai state unificate coerentemente. Piuttosto, sembra verosimile che tale unificazione non sia affatto possibile. Ciò che probabilmente occorre, invece, è una teoria qualitativamente nuova da cui sia la relatività sia la teoria quantistica siano derivabili come astrazioni, approssimazioni e casi limite.

I concetti fondamentali della nuova teoria non si possono evidentemente trovare partendo da quelle caratteristiche in cui relatività e teoria quantistica sono in contraddizione diretta. Il miglior punto da cui partire è ciò che le due teorie hanno essenzialmente in comune. Questo è il con-

cetto di totalità indivisa. Benché ciascuna vi giunga in modo diverso, è chiaro che questa totalità è ciò che entrambe fondamentalmente indicano.

Partire dalla totalità indivisa, tuttavia, significa abbandonare l'ordine meccanicistico, che è stato per secoli la base di tutto il pensiero fisico. Come abbiamo visto nel capitolo 5, l'ordine meccanicistico si esprime nella maniera più naturale e diretta attraverso le coordinate cartesiane. Benché la fisica sia radicalmente cambiata in molti modi, le coordinate cartesiane (con alcune modifiche marginali, come l'introduzione di coordinate curvilinee) sono la caratteristica basilare che è rimasta immutata. Evidentemente non è facile cambiarla, perché i nostri concetti d'ordine sono pervasivi, non coinvolgono solo il nostro pensiero, ma anche i nostri sensi, le nostre emozioni, le nostre intuizioni, il nostro modo di muoverci, i nostri rapporti con gli altri e con la società e in verità ogni aspetto della nostra vita. Perciò è difficile staccarci dai nostri vecchi concetti d'ordine in misura sufficiente a permetterci di considerare seriamente dei concetti d'ordine nuovi.

Per capire meglio il significato della proposta di nuovi concetti d'ordine, appropriati alla totalità indivisa, può essere utile cominciare con qualche esempio che coinvolga direttamente la percezione sensibile e con modelli e analogie che illustrino questi concetti in maniera immaginativa e intuitiva. Nel capitolo 6 siamo partiti dall'osservazione che la lente dell'obiettivo di una macchina fotografica ci dà una sorta di percezione sensibile immediata del significato del vecchio ordine meccanicistico, perché, creando una corrispondenza approssimata fra punti dell'oggetto e punti dell'immagine fotografica, mette in rilievo l'analisi dell'oggetto in elementi separati. E, permettendo la registrazione punto per punto di oggetti troppo piccoli, troppo grandi, troppo veloci o troppo lenti per essere visti a occhio nudo, ci porta a credere che tutto alla fin fine possa essere *percepito* in questo modo. Da ciò si sviluppa l'idea che non ci sia nulla che non possa essere anche *concepito* come fatto di elementi localizzati. Perciò l'approccio meccanicistico è stato molto incoraggiato dallo sviluppo dell'obiettivo fotografico.

Siamo poi passati a descrivere un nuovo strumento, det-

to *ologramma*. Come spiegato nel capitolo 6, esso produce una registrazione fotografica del disegno di interferenza prodotto dalle onde luminose provenienti da un oggetto. La caratteristica nuova fondamentale di questa registrazione è il fatto che ciascuna parte di essa contiene informazione relativa all'*intero oggetto* (cosicché non esiste una corrispondenza punto per punto fra oggetto e immagine fotografica). Si può cioè dire che la forma e la struttura dell'intero oggetto è *inviluppata* in ciascuna regione della lastra fotografica. Illuminando una qualsiasi regione della lastra, questa forma e struttura vengono *sviluppate*, fornendo di nuovo un'immagine riconoscibile dell'intero oggetto.

Questo esempio suggerisce un nuovo concetto d'ordine, che abbiamo chiamato *ordine implicato* (da una radice latina che significa 'ripiegare', 'piegare al suo interno'). In termini dell'ordine implicato si può dire che tutto sia inviluppato dentro tutto. Questo differisce dall'*ordine esplicato*, attualmente dominante in fisica, in cui le cose sono *sviluppate*, nel senso che ciascuna di esse occupa una propria particolare regione spaziale (e temporale), distinta dalle regioni occupate da altre cose.

Il pregio dell'ologramma in questo contesto è che può aiutarci a cogliere il nuovo concetto d'ordine in maniera percettibile; ma naturalmente l'ologramma è solo una registrazione statica (una 'istantanea') di tale ordine. L'effettivo ordine fotografato è il complesso movimento dei campi elettromagnetici sotto forma di onde luminose. Questo movimento delle onde luminose è presente dappertutto e in linea di principio inviluppa l'intero universo dello spazio (e del tempo) in ciascuna sua regione (come dimostrano il nostro occhio o un telescopio, che 'sviluppano' il contenuto inviluppato in una data regione).

Come abbiamo sottolineato nel capitolo 6, questo inviluppo e sviluppo non riguarda solo il movimento del campo elettromagnetico, ma anche quello di tutti gli altri campi: elettronico, protonico, onde sonore, eccetera. Si conosce già una folta schiera di tali campi e indubbiamente ce n'è un numero imprecisato ancora da scoprire. Inoltre il movimento effettivo è descritto solo approssimativamente dal concetto classico di campo (generalmente usato per spiegare il funzionamento dell'ologramma). Più precisamente

i campi obbediscono a leggi quantistiche, che implicano le proprietà di discontinuità e nonlocalità già citate (e che discuteremo di nuovo più oltre in questo capitolo). E le leggi quantistiche stesse, come vedremo, possono essere solo astrazioni di leggi ancora più generali, di cui oggi siamo in grado di percepire solo alcuni vaghi contorni. Perciò la totalità del movimento di inviluppo e sviluppo può andare immensamente al di là di ciò che si è rivelato finora alle nostre osservazioni.

Nel capitolo 6 abbiamo chiamato questa totalità *olomovimento*. La nostra proposta fondamentale è allora che *tutto ciò che è* sia l'olomovimento e che tutto vada spiegato in termini di forme derivate dall'olomovimento. Benché l'insieme completo delle leggi che governano questa totalità sia sconosciuto (e probabilmente inconoscibile), tuttavia possiamo supporre che queste leggi siano di forma tale che da esse si possono astrarre delle subtotalità di movimento relativamente autonome o indipendenti (per esempio campi, particelle, eccetera), dotate di una certa ricorrenza e stabilità nei loro fondamentali ordine e misura. Possiamo allora studiare queste subtotalità, ciascuna in se stessa, senza dover prima conoscere la totalità delle leggi dell'olomovimento. Questo implica però naturalmente che non dobbiamo considerare i risultati di tali ricerche come dotati di una validità assoluta e finale; bensì dobbiamo sempre essere pronti a scoprire i limiti dell'indipendenza di qualsiasi struttura di leggi relativamente autonoma e di lì partire alla ricerca di nuove leggi che si riferiscano a un ambito di relativa autonomia più grande.

Finora abbiamo contrapposto ordini implicati ed esplicati, trattandoli come separati e distinti. Ma, come abbiamo suggerito nel capitolo 6, un ordine esplicato può essere considerato un caso particolare e notevole nell'ambito di un insieme di ordini implicati da cui può essere derivato. L'ordine esplicato è caratterizzato dal fatto che ciò che viene così derivato è un insieme di elementi ricorrenti e relativamente stabili *esterni* gli uni agli altri. Questo insieme di elementi (per esempio, particelle e campi) spiega allora quella sfera di esperienza di cui l'ordine meccanicistico fornisce una trattazione adeguata.

Nell'approccio meccanicistico corrente, tuttavia, questi

elementi, che si suppone esistano separatamente e indipendentemente, sono identificati con i costituenti fondamentali della realtà. Il compito della scienza diviene allora quello di partire da questi elementi e descrivere ogni totalità coma un'astrazione, spiegabile in termini di interazioni fra le sue parti. Lavorando in termini di ordine implicato, invece, si parte dalla totalità indivisa dell'universo e il compito della scienza è quello di derivare le parti per astrazione dal tutto, spiegandole come elementi approssimativamente separabili, stabili e ricorrenti, legati da relazioni esterne, che costituiscono una subtotalità relativamente autonoma descrivibile come ordine esplicato.

3. L'ordine implicato e la struttura generale della materia

Daremo ora una descrizione più dettagliata del modo in cui la struttura generale della materia può essere compresa in termini dell'ordine implicato. A questo scopo riprendiamo in considerazione il dispositivo che nel capitolo 6 ci è servito a illustrare con un'analogia certe caratteristiche essenziali dell'ordine implicato. (Va sottolineato, tuttavia, che questo esempio è *solo* un'analogia e che, come vedremo più precisamente in seguito, la sua corrispondenza con l'ordine implicato è limitata.)

Il dispositivo consiste in due cilindri concentrici di vetro, fra i quali c'è un fluido ad alta viscosità, come glicerina. È possibile fare ruotare il cilindro esterno molto lentamente, in modo da produrre una diffusione trascurabile nel fluido viscoso. Mettiamo nel fluido una gocciolina di inchiostro insolubile; e poi facciamo girare il cilindro esterno, stirando la gocciolina in un filo sempre più sottile, che pian piano diventa invisibile. Quando il cilindro viene ruotato in senso inverso, il disegno filiforme si ricontrae in una gocciolina essenzialmente identica a quella originariamente presente.

Vale la pena di riflettere attentamente a ciò che accade in questo processo. Consideriamo in primo luogo un elemento del fluido. Le parti più lontane dall'asse del dispositivo si muovono più velocemente di quelle più vicine: l'elemento

quindi si deforma ed è per questo che a lungo andare si trasforma in un filamento. La goccia d'inchiostro è un aggregato di particelle di carbonio inizialmente in sospensione nell'elemento di fluido. Quando l'elemento si deforma, esso trascina con sé le particelle di carbonio. Esse si diffondono perciò su un volume tanto grande che la loro densità scende sotto la soglia minima della visibilità. Quando il movimento viene invertito, come sappiamo dalle leggi che governano il moto dei fluidi viscosi, ogni parte del fluido ripercorre all'indietro il proprio cammino, cosicché a un certo punto l'elemento fluido filiforme riprende la propria forma originaria. Esso porta con sé le particelle di inchiostro in sospensione, la cui densità torna a superare la soglia per la percettibilità e che ricompaiono sotto forma prima di filamento visibile, poi di gocciolina.

Quando le particelle d'inchiostro sono state stirate in un lungo filamento, possiamo dire che siano state *inviluppate* nella glicerina. È un po' come quando un uovo viene sbattuto nella pasta di un dolce: la differenza sta nel fatto che, mentre la gocciolina 'inviluppata' può venire 'sviluppata' invertendo il moto del fluido, è impossibile 'sviluppare' l'uovo perché in questo caso il materiale è andato soggetto a un mescolamento diffusivo irreversibile.

L'analogia fra questo processo di inviluppo e sviluppo e l'ordine implicato che abbiamo introdotto parlando dell'ologramma è abbastanza stretta. Possiamo arricchirla di dettaglio considerando due goccioline d'inchiostro vicine che, per facilitare la visualizzazione, possiamo immaginare come una rossa, l'altra blu. Se il cilindro esterno viene fatto ruotare, ciascuno dei due elementi di fluido contenenti in sospensione le particelle di inchiostro viene stirato in un filamento. Le due figure filiformi, pur restando separate e distinte, si intrecciano fra loro in modo complesso, formando un disegno troppo fine per essere visibile a occhio nudo (un po' come la figura di interferenza registrata dall'ologramma, che ha tuttavia un'origine diversa). Le particelle d'inchiostro delle due goccioline sono trasportate dal moto del fluido, ma restando ciascuna nel proprio filamento. Alla fine, tuttavia, in ogni regione visibile a occhio nudo le particelle rosse di una delle due gocce e quelle blu dell'altra sono mescolate in maniera apparentemente casuale. Ma quando il movimento viene invertito i due elementi filiformi di fluido si ricompattano fino a raccogliersi nuovamente in due goccioline chiaramente separate. Se osservassimo più da vicino quello che succede (per esempio con un microscopio), vedremmo particelle rosse e blu vicine le une alle altre cominciare a separarsi e particelle dello stesso colore lontane fra loro cominciare ad avvicinarsi. È quasi come se le particelle lontane dello stesso colore 'sapessero' di avere un destino comune, diverso da quello delle particelle dell'altro colore, a cui pure si trovano accanto.

Naturalmente in questo caso non esiste propriamente un tale 'destino'. Di fatto tutto ciò che è successo ammette una spiegazione meccanica, in termini dei movimenti complessi degli elementi di fluido in cui le particelle sono in sospensione. Ma dobbiamo ricordare che il dispositivo descritto è solo un'analogia per illustrare un nuovo concetto d'ordine. Per delineare chiaramente questo nuovo concetto possiamo concentrare la nostra attenzione sulle sole particelle d'inchiostro, ignorando il fluido in cui sono immerse, almeno per il momento. Quando gli insiemi di particelle d'inchiostro di ciascuna gocciolina sono stati stirati fino a diventare dei fili invisibili, mescolando le particelle dei due colori, possiamo tuttavia dire che, come *ensemble* (insieme di punti che si muovono in un determinato spazio), ciascun insieme di particelle resta distinto dall'altro. Questa distinzione non è in generale evidente ai sensi, ma sta in un certo rapporto con la situazione complessiva che ha generato gli *ensembles*. La situazione comprende i cilindri di vetro, il fluido viscoso e i suoi movimenti e la distribuzione iniziale delle particelle d'inchiostro. In questo senso possiamo dire che ciascuna particella d'inchiostro appartiene a un *ensemble* ben preciso e che è legata alle altre particelle dell'*ensemble* dalla forza di una necessità intrinseca nella situazione complessiva, capace di portare tutto l'insieme a un destino comune (quello di ricostituire una gocciolina d'inchiostro).

Nel dispositivo descritto la necessità complessiva funziona meccanicamente, in termini del movimento del fluido secondo certe leggi dell'idrodinamica. Ma noi vogliamo, come abbiamo detto, a un certo punto lasciar cadere l'analogia meccanica e considerare invece l'olomovimento. Anche

nell'olomovimento c'è una necessità complessiva (che nel capitolo 6 abbiamo chiamato 'olonomia'). Ma le sue leggi non sono meccaniche: esse sono invece in prima approssimazione quelle della teoria quantistica e più profondamente vanno al di là anche di queste ultime, in modi che sono per ora solo vagamente intuibili. Tuttavia nell'olomovimento valgono certi principi di distinzione simili a quelli incontrati nell'analogia dei due cilindri di vetro. Vale a dire, *ensembles* di elementi che si mescolano o si compenetrano nello spazio sono distinguibili nel contesto di certe situazioni globali in cui i membri di ciascun *ensemble* sono legati dalla forza di una necessità complessiva, intrinseca alla situazione, che può raccoglierli in un modo ben definito.

Adesso che abbiamo stabilito un nuovo tipo di distinzione fra *ensembles* inviluppati insieme nello spazio, possiamo organizzare queste distinzioni in un *ordine*. Il più semplice concetto d'ordine è quello di una sequenza o successione. Cominciamo con questa idea semplice, per svilupparla in seguito in concetti d'ordine molto più complessi e sottili.

Come abbiamo visto nel capitolo 5, l'essenza di un semplice ordine sequenziale sta nella serie di relazioni fra i suoi elementi:

$$A{:}B :: B{:}C :: C{:}D \ldots$$

Per esempio, se A rappresenta un segmento di una linea, B il segmento successivo e così via, il loro rapporto di sequenzialità è espresso precisamente dalle relazioni sopra scritte.

Ritorniamo ora all'analogia del fluido e immaginiamo di immettere nel fluido un gran numero di goccioline (che questa volta possiamo pensare dello stesso colore), A, B, C, D, ..., l'una vicina all'altra, disposte in modo da formare una linea. Poi facciamo compiere al cilindro esterno molti giri, in modo che ciascuna gocciolina si trasformi in un *ensemble* di particelle d'inchiostro distribuite su una regione spaziale tanto estesa che le particelle di tutte le goccioline si mescolano fra loro. Questi *ensembles* li chiameremo A', B', C', D', ...

È chiaro che, in un certo senso, abbiamo inviluppato nel

fluido un intero ordine lineare, che può essere espresso dalle relazioni:

$$A'{:}B' :: B'{:}C' :: C'{:}D' \ldots$$

Quest'ordine non è evidente ai nostri sensi. La sua realtà può essere dimostrata invertendo il moto del fluido, così che gli *ensembles* A', B', C', D', ... si sviluppino nella originaria sequenza lineare di goccioline A, B, C, D, ...

In questo esempio abbiamo preso un ordine esplicato preesistente, formato da insiemi di particelle d'inchiostro disposti lungo una linea, e lo abbiamo trasformato in un ordine di insiemi inviluppati fondamentalmente simile. Ora considereremo invece un ordine più sottile, non derivabile da una trasformazione cosiffatta.

Immaginiamo di immettere nel fluido una gocciolina, A, e di far compiere al cilindro n giri. Poi inseriamo nello stesso punto una seconda gocciolina, B, e di nuovo facciamo compiere al cilindro n giri. Procediamo così, immettendo successivamente le goccioline C, D, E, ... Gli *ensembles* di particelle d'inchiostro risultanti a, b, c, d, e, ... differiscono ora in un senso nuovo, perché quando si inverte il moto del fluido essi si ricompongono in goccioline nell'ordine opposto a quello in cui sono stati immessi nel fluido. A un certo punto, per esempio, si raccolgono le particelle dell'*ensemble* d, che poi si disperdono nuovamente in una figura filiforme. Poi la stessa cosa accade a quelle di c, b, eccetera. È chiaro da quanto è stato detto che l'insieme d sta all'insieme c nello stesso rapporto in cui c sta a b e così via. Questi *ensembles* formano perciò un ordine sequenziale. Ma quest'ordine non è descrivibile come trasformazione di un ordine spaziale lineare (a differenza dell'esempio precedente), perché solo un insieme per volta può svilupparsi: quando un insieme di particelle è sviluppato, gli altri sono inviluppati. In breve abbiamo qui un ordine che non può essere esplicato tutto simultaneamente e che pure è reale, come è dimostrato dalla comparsa delle successive goccioline al ruotare del cilindro.

Un ordine di questo genere lo chiamiamo *intrinsecamente implicato*, per distinguerlo da quegli ordini che possono anche essere inviluppati, ma ammettono uno sviluppo in un

unico ordine esplicato simultaneamente esistente. Questo è un esempio del fatto, a cui abbiamo accennato nel paragrafo precedente, che un ordine esplicato è un caso particolare di un insieme più generale di ordini implicati.

Combiniamo ora insieme i due tipi di ordine sopra descritti.

Prima mettiamo una gocciolina, A, in una certa posizione e facciamo girare il cilindro n volte. Poi mettiamo una seconda gocciolina, B, in una posizione leggermente diversa e ancora facciamo girare il cilindro n volte (A è ora inviluppata di $2n$ giri). Poi immettiamo una gocciolina C un po' più avanti sulla linea AB e facciamo girare il cilindro n volte, cosicché ora A è inviluppata di $3n$ giri, B di $2n$ giri e C di n giri. Procediamo così, immettendo una sequenza di goccioline. Poi facciamo ruotare abbastanza rapidamente il cilindro in senso inverso. Se il ritmo di emergenza delle goccioline è più veloce del tempo minimo di risoluzione dell'occhio umano, l'immagine che ci appare è quella di una particella che si muove con continuità nello spazio.

Questo inviluppo e sviluppo dell'ordine implicato evidentemente può fornirci un nuovo modello di una particella, per esempio di un elettrone, notevolmente diverso dall'attuale modello meccanicistico in cui la particella esiste in ciascun momento solo in una piccola regione spaziale e la sua posizione cambia con continuità nel tempo. L'aspetto essenziale di questo nuovo modello è il fatto di comprendere l'elettrone in termini di un intero insieme di *ensembles* inviluppati, che non sono in generale spazialmente localizzati. In un dato momento uno di questi *ensembles* può essere sviluppato e perciò localizzato, ma il momento successivo esso si inviluppa nuovamente, per essere sostituito dall'*ensemble* seguente. L'esistenza continua della particella viene approssimata dalla ricorrenza rapida di forme simili (un po' come una ruota di bicicletta che gira velocemente dà l'impressione di un disco solido, anziché di una sequenza di raggi). Naturalmente, in un senso più fondamentale la particella è solo un'astrazione che si manifesta ai nostri sensi. La realtà è una totalità di *ensembles*, tutti compresenti, che formano una serie ordinata di stadi di inviluppo e sviluppo e che in linea di principio si mescolano e si compenetrano attraverso tutto lo spazio.

È evidente anche che avremmo potuto inviluppare un numero arbitrario di questi 'elettroni', le cui forme si sarebbero mescolate e compenetrate nell'ordine implicato. Ciò nonostante, nello svilupparsi e divenire manifeste ai nostri sensi queste forme sarebbero apparse come un insieme di 'particelle' chiaramente separate l'una dall'altra. La costruzione degli *ensembles* avrebbe potuto essere tale da far 'muovere' queste 'particelle' in linea retta e indipendentemente l'una dall'altra o, altrettanto plausibilmente, lungo traiettorie curvilinee e reciprocamente dipendenti, come se ci fosse fra loro una forza di interazione. Poiché la fisica classica tradizionalmente cerca di spiegare tutto in termini di insiemi di particelle interagenti, in linea di principio si potrebbe trattare tutto il campo correttamente coperto da tali concetti classici per mezzo del nostro modello di sequenze ordinate di *ensembles* inviluppati e sviluppati.

L'idea che proponiamo qui è che questo modello si applichi all'ambito quantistico molto meglio di quello classico di un insieme di particelle interagenti. Per esempio, le successive manifestazioni localizzate di un elettrone possono essere molto vicine fra loro e approssimare una traiettoria continua, ma ciò non accade necessariamente sempre. Le traiettorie manifeste possono presentare delle discontinuità, così che a livello manifesto l'elettrone passa da uno stato all'altro senza attraversare gli stati intermedi. Questa possibilità, naturalmente, dipende dal fatto che la 'particella' è solo un'astrazione di una struttura complessiva molto più vasta. Questa astrazione è ciò che si manifesta ai nostri sensi (o ai nostri strumenti), ma non c'è ragione per cui essa debba muoversi (e neppure esistere) con continuità.

Inoltre, se si cambia il contesto complessivo del processo, possono darsi modi di manifestazione completamente diversi. Ritornando all'analogia dell'inchiostro nel fluido, se si cambiano i cilindri o si introducono degli ostacoli nel fluido la forma e l'ordine di manifestazione delle gocce d'inchiostro cambiano. Questa dipendenza (la dipendenza di ciò che si manifesta nelle osservazioni dalla situazione globale) presenta una stretta analogia con un'altra caratteristica della teoria quantistica citata nel paragrafo precedente, cioè il fatto che gli elettroni possano comportarsi come particelle o come onde (o come una via di mezzo) a secon-

da della situazione complessiva in cui esistono e in cui vengono osservati sperimentalmente.

Quanto detto mostra che in generale l'ordine implicato fornisce delle proprietà quantistiche della materia una descrizione molto più coerente di quella del tradizionale ordine meccanicistico. Noi proponiamo quindi qui di assumere l'ordine implicato come fondamentale. Per capire pienamente il senso di questa proposta è necessario tuttavia confrontarla attentamente con le implicazioni di un approccio meccanicistico basato sull'ordine esplicato: perché anche in questo approccio è possibile prendere in considerazione, almeno in un certo senso, un inviluppo e sviluppo in certe situazioni specifiche (per esempio, quella della gocciolina d'inchiostro). Ma tale inviluppo e sviluppo, quando si presenta, non viene considerato come dotato di un significato fondamentale. Si ritiene che tutto ciò che è primario, indipendentemente esistente e universale sia esprimibile in termini di un ordine esplicato che coinvolge elementi in rapporto esterno fra di loro (di solito particelle, campi o una combinazione delle due cose) e che ogni forma di inviluppo e sviluppo sia in ultima analisi riducibile a un ordine esplicato sottostante con un'analisi meccanica più approfondita (come in effetti accade nel caso della gocciolina d'inchiostro).

La nostra proposta di partire dall'ordine implicato come fondamentale significa invece esprimere ciò che è primario, indipendentemente esistente e universale in termini dell'ordine implicato. In questo approccio è l'ordine implicato ad agire autonomamente; mentre, come abbiamo detto, l'ordine esplicato sgorga da una legge dell'ordine implicato ed è perciò secondario, derivato e applicabile solo in contesti limitati. In altre parole, le leggi fondamentali sono le relazioni fra le strutture inviluppate che si intrecciano e si compenetrano in tutto lo spazio, anziché fra le forme astratte e separate che si manifestano ai nostri sensi (ed ai nostri strumenti).

Qual è allora il significato del 'mondo manifesto', apparentemente indipendente ed autonomamemnte esistente nell'ordine esplicato? La risposta a questa domanda è suggerita dalla radice della parola 'manifesto', che viene dal latino *manus*, 'mano'. Ciò che è manifesto è ciò che si può

tenere in mano: solido, tangibile e visibilmente stabile. L'ordine implicato ha il suo fondamento nell'olomovimento, che, come abbiamo visto, è vasto, ricco, fluido, in uno stato di perpetuo inviluppo e sviluppo e le cui leggi sono note solo vagamente e possono perfino essere inconoscibili nella loro totalità. Perciò l'ordine implicato non è afferrabile dai nostri sensi (o dai nostri strumenti) come qualcosa di solido, tangibile e stabile. Tuttavia, come abbiamo suggerito in precedenza, possiamo supporre che la legge globale (olonomia) sia tale che, in un certo sottordine all'interno dell'insieme complessivo dell'ordine implicato, vi sia una totalità di forme che presentano una certa approssimata ricorrenza, stabilità e separabilità. Queste forme possono apparirci come gli elementi relativamente solidi, tangibili e stabili che compongono il nostro 'mondo manifesto'. Questo particolare sottordine, su cui si basa la possibilità del mondo manifesto, è ciò che in effetti intendiamo con ordine esplicato.

Per comodità possiamo sempre immaginare o rappresentarci l'ordine esplicato come l'ordine che si manifesta ai nostri sensi. Il fatto che quest'ordine sia in effetti più o meno quello che appare ai nostri sensi richiede tuttavia una spiegazione. Questa sarà possibile quando introdurremo nel nostro 'universo di discorso' la coscienza e mostreremo come la materia in generale e la coscienza in particolare possano, almeno in un certo senso, avere quest'ordine esplicato (manifesto) in comune. Questo problema sarà esplorato ulteriormente quando parleremo della coscienza, nei paragrafi 7 e 8 di questo capitolo.

4. La teoria quantistica come indicazione di un ordine implicato multidimensionale

Finora abbiamo presentato l'ordine implicato come un processo di inviluppo e sviluppo nell'ordinario spazio tridimensionale. Tuttavia, come abbiamo detto nel paragrafo 2, la teoria quantistica presenta un tipo fondamentalmente nuovo di relazione nonlocale, messa in evidenza dall'esperimento di Einstein, Podolsky e Rosen, descrivibile come connessione acausale di elementi distanti fra loro[6]. Per i nostri fi-

ni non è necessario addentrarci nei dettagli tecnici di questa relazione nonlocale. La cosa importante qui è il fatto che, studiando le implicazioni della teoria quantistica, si trova che l'analisi del sistema in un insieme di particelle interagenti indipendendentemente esistenti viene a cadere in un senso radicalmente nuovo. Si scopre che invece, in base sia al significato delle equazioni matematiche sia agli esperimenti reali, le varie particelle vanno intese letteralmente come proiezioni di una realtà di dimensione più alta non riducibile alla presenza di una forza di interazione fra di esse[7].

Possiamo farci una rappresentazione intuitiva del significato di proiezione in questo contesto considerando il seguente dispositivo. Immaginiamo di avere una vasca rettangolare piena d'acqua, con le pareti di vetro, e due telecamere A e B, ad angolo retto fra di loro, che riprendono quello che succede nell'acqua, per esempio dei pesci che nuotano (*vedi* fig. 7.1). Le immagini riprese dalle telecamere appaiono sugli schermi televisivi A e B in un'altra stanza.

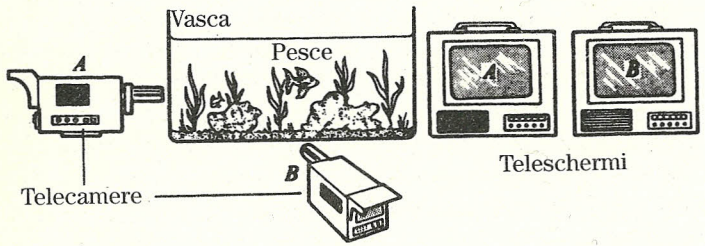

Figura 7.1

Quello che vediamo guardando i teleschermi è che c'è una certa *relazione* fra le immagini che appaiono su di essi. Per esempio, sullo schermo A appare un'immagine di un pesce e sullo schermo B un'altra immagine del pesce, in generale diversa. Ma le differenze sono fra loro correlate, nel senso che quando un'immagine compie certi movimenti l'altra immagine compie dei movimenti corrispondenti. Inoltre ciò che appare su uno dei due schermi può passare sull'altro:

per esempio, quando un pesce che era inizialmente rivolto verso la telecamera A fa una curva ad angolo retto, l'immagine che prima appariva sullo schermo A appare ora sullo schermo B. Perciò in ogni momento l'immagine che appare su uno degli schermi è correlata con quella che appare sull'altro e la riflette.

Naturalmente in questo caso sappiamo che le due immagini non si riferiscono a realtà indipendentemente esistenti e interagenti (nel senso in cui potremmo dire che i cambiamenti di una di esse 'causano' corrispondenti cambiamenti nell'altra). Esse si riferiscono invece a un'unica realtà, che è il fondamento comune di entrambe (e che spiega la correlazione fra le immagini senza bisogno di supporre che esercitino un'influenza causale l'una sull'altra). Questa realtà è di dimensonalità più alta di quella delle immagini sugli schermi. Le immagini sono cioè *proiezioni* (o facce) bidimensionali di una realtà tridimensionale. In un certo senso la realtà tridimensionale contiene in sé tutte queste proiezioni bidimensionali. Tuttavia, dato che queste proiezioni sono soltanto delle astrazioni, la realtà tridimensionale non è nessuna di esse: è invece qualcos'altro, di una natura che va al di là di entrambe.

Ciò che proponiamo qui è che la proprietà quantistica di una relazione nonlocale e acausale fra elementi lontani sia comprensibile per analogia con il concetto sopra descritto. Vale a dire, possiamo considerare ciascuna delle 'particelle' costituenti un sistema come proiezione di una realtà 'di dimensione più alta', anziché come particella separatamente esistente in uno spazio tridimensionale. Per esempio, nell'esperimento di Einstein, Podolsky e Rosen, ciascuno dei due atomi che inizialmente formano la molecola va considerato come proiezione tridimensionale di una realtà a sei dimensioni. Questo fatto può essere dimostrato sperimentalmente disintegrando la molecola e osservando i due atomi quando si sono molto allontanati l'uno dall'altro, in modo da non poter più interagire e perciò da non poter essere causalmente connessi. Si trova che il comportamento dei due atomi è correlato in modo simile a quello delle immagini del pesce sui due teleschermi. Perciò (come in effetti risulta anche da un più attento studio della forma matematica delle leggi quantistiche in gioco) ciascun atomo si com-

porta come se fosse una proiezione di una realtà di dimensione più alta.

In certe condizioni[8], le due proiezioni tridimensionali corrispondenti ai due atomi hanno una relativa indipendenza di comportamento. Quando queste condizioni sono soddisfatte, possiamo con buona approssimazione trattare i due atomi come particelle relativamente indipendenti e interagenti situate nello stesso spazio tridimensionale. In generale, tuttavia, i due atomi presenteranno quella correlazione nonlocale di comportamento che mostra come, a un livello più profondo, essi siano solo proiezioni tridimensionali del tipo descritto sopra.

Un sistema costituito da N 'particelle' è allora una realtà $3N$-dimensionale, di cui ciascuna 'particella' è una proiezione tridimensionale. Nelle condizioni ordinarie della nostra esperienza queste proiezioni sono abbastanza vicine all'indipendenza da poter essere trattate con buona approssimazione come particelle separatamente esistenti nello stesso spazio tridimensionale. In altre condizioni, tuttavia, questa approssimazione si rivela inadeguata. Per esempio, a bassa temperatura un insieme di elettroni presenta la proprietà della superconduttività, cioè la resistenza elettrica si annulla, permettendo alla corrente di fluire indefinitamente. Questo fenomeno si spiega mostrando che gli elettroni entrano in uno stato diverso, in cui non sono più relativamente indipendenti. Ogni elettrone si comporta invece come proiezione di un'unica realtà di dimensione più alta e queste proiezioni presentano una correlazione nonlocale e acausale che permette loro di aggirare gli ostacoli 'collaborativamente', senza diffusione e perciò senza resistenza. (Si potrebbe paragonare questo comportamento a un balletto, mentre il comportamento ordinario degli elettroni assomiglia piuttosto a quello di una folla agitata, in cui le persone si muovono in maniera scoordinata fra di loro.)

Da tutto questo segue che fondamentalmente l'ordine implicato va considerato come un processo di inviluppo e sviluppo in uno spazio di dimensione più alta. Solo in certe condizioni questo processo si presenta approssimativamente come inviluppo e sviluppo in uno spazio tridimensionale. Finora ci siamo serviti di questa approssimazione non solo nell'esempio della gocciolina d'inchiostro, ma anche in quello

dell'ologramma. Questo trattamento è tuttavia solo una semplificazione, anche nel caso dell'ologramma. Il campo elettromagnetico, che è il fondamento dell'immagine olografica, obbedisce infatti alle leggi della teoria quantistica e quando queste leggi gli vengono correttamente applicate si trova che anch'esso è in effetti una realtà multidimensionale, solo approssimativamente e in certe condizioni semplificabile a una realtà tridimensionale.

In generale, allora, l'ordine implicato va pensato come una realtà multidimensionale. In linea di principio questa realtà è una totalità indivisa, che comprende tutto l'universo con tutti i suoi 'campi' e 'particelle'. Dobbiamo perciò dire che l'olomovimento si inviluppa e sviluppa in un ordine multidimensionale, la cui dimensione è in effetti infinita. Tuttavia, come abbiamo visto, in generale è possibile astrarre da quest'ordine delle subtotalità approssimativamente descrivibili come autonome. Il principio della realativa autonomia di subtotalità, introdotto in precedenza come una caratteristica fondamentale dell'olomovimento, si applica perciò all'ordine multidimensionale della realtà.

5. La cosmologia e l'ordine implicato

Dalle precedenti considerazioni su come sia possibile comprendere la struttura generale della materia in termini dell'ordine implicato passiamo ora a certi nuovi concetti cosmologici impliciti in questo approccio.

Notiamo in primo luogo che, quando la teoria quantistica viene applicata ai campi (come accennato nel paragrafo precedente), si trova che i possibili stati energetici del campo sono discreti (o quantizzati). Un tale stato è per certi versi come un'onda diffusa su un'ampia regione spaziale. Ma esso è anche caratterizzato da un'energia e da una quantità di moto discrete, proporzionali alla frequenza dell'onda, cosicché per altri versi è anche come una particella (per esempio, un fotone)[9]. Se si considera per esempio il campo elettromagnetico nello spazio vuoto, la teoria quantistica attribuisce a ciascuna di queste eccitazioni 'onda-particella' del campo una certa 'energia di punto zero', sotto la quale non può scendere neppure quando la sua energia è la mini-

ma possibile. Se si sommano allora le energie di tutti i modi di eccitazione 'onda-particella' in una qualsiasi regione spaziale il risultato è infinito, perché c'è un numero infinito di lunghezze d'onda. Tuttavia ci sono buone ragioni per ritenere che non si debba continuare indefinitamente a sommare le energie corrispondenti a lunghezze d'onda sempre più piccole. Può darsi che ci sia una certa lunghezza d'onda minima ammissibile e che perciò il numero totale di eccitazioni e di conseguenza l'energia totale siano finiti.

Infatti, se si applicano le regole della teoria quantistica alla teoria attualmente accettata della relatività generale, si trova che anche il campo gravitazionale è fatto di tali modi 'onda-particella', ciascuno dei quali ha un'energia minima di punto zero. Di conseguenza a una certa scala il campo gravitazionale, e perciò il concetto di distanza, cessa di essere completamente definito. Se nel campo gravitazionale continuiamo a sommare lunghezze d'onda sempre più brevi, arriviamo a una scala in cui la misura del tempo e dello spazio perdono completamente significato. Al di là di questo punto il concetto di spazio e di tempo così come lo conosciamo si dissolve in qualcosa che per ora è del tutto indefinibile. Perciò è ragionevole supporre, almeno temporaneamente, che questa sia la più breve lunghezza d'onda che contribuisce all'energia di punto zero dello spazio.

Quando si valuta questa lunghezza, si trova che essa è di circa 10^{-33} cm. Questo valore è molto più piccolo delle distanze esplorate finora negli esperimenti fisici (che scendono fino a circa 10^{-17} cm). Se si calcola la quantità di energia contenuta in un centimetro cubo di spazio vuoto con questo valore della lunghezza d'onda minima, si trova che essa supera di gran lunga l'energia totale di tutta la materia contenuta nell'universo conosciuto[10].

L'implicazione di questa proposta è perciò che quello che chiamiamo spazio vuoto contenga un'immensa quantità di energia e che la materia così come noi la conosciamo sia solo una piccola eccitazione ondulatoria 'quantizzata' sovrapposta a questo sfondo, qualcosa come una lieve increspatura su un vasto mare. Nelle teorie fisiche attuali si evita di prendere esplicitamente in considerazione lo sfondo calcolando solo la differenza fra l'energia dello spazio contenente della materia e quella dello spazio vuoto. Questa differenza è la sola cosa che conta nel determinare le proprietà della materia attualmente accessibili all'osservazione. Ma ulteriori sviluppi in fisica potrebbero rendere possibile esplorare il mare di energia sopra descritto in maniera più diretta. Inoltre anche attualmente questo vasto mare di energia può giocare un ruolo fondamentale nella comprensione del cosmo nel suo insieme.

In questo senso lo spazio, che contiene tutta questa energia, è descrivibile piuttosto come *pieno* che come vuoto. I due concetti dello spazio come vuoto e come pieno si sono continuamente alternati nello sviluppo delle concezioni filosofiche e fisiche del mondo. Nell'antica Grecia, la scuola di Parmenide e di Zenone si rappresentava lo spazio come un *plenum*. A questa visione si contrapponeva quella di Democrito, che fu forse il primo a proporre seriamente la concezione dello spazio come vuoto in cui delle particelle materiali (gli atomi) si muovono liberamente. La scienza moderna ha preferito in generale la visione atomistica, benché ancora nel diciannovesimo secolo la concezione del *plenum* sia stata seriamente ripresa in considerazione sotto forma dell'ipotesi dell'etere, concepito come un *fluido* che riempiva tutto lo spazio. La materia veniva allora pensata come un insieme di forme ricorrenti, stabili e separabili in seno all'etere (del tipo di onde o vortici), che si propagavano attraverso questo pieno come se esso fosse vuoto.

Un'idea simile è presente anche nella fisica moderna. Secondo la teoria quantistica, in un cristallo alla temperatura dello zero assoluto gli elettroni passano senza venire deflessi. Si propagano come se lo spazio fosse vuoto. Se si innalza la temperatura, compaiono delle disomogeneità, che deflettono gli elettroni. Perciò, se ci servissimo degli elettroni per osservare il cristallo (per esempio focalizzandoli con una lente elettronica per formare un'immagine), solo le disomogeneità risulterebbero visibili. Le disomogeneità sembrerebbero esistere indipendentemente e il corpo principale del cristallo apparirebbe come un puro vuoto.

L'idea che vogliamo suggerire qui è allora che ciò che i nostri sensi percepiscono come spazio vuoto sia in effetti il *plenum*, il terreno in cui ogni forma esistente è radicata, inclusi noi stessi. Le cose che appaiono ai nostri sensi sono forme derivate e il loro vero significato può essere colto solo

quando prendiamo in considerazione il *plenum*, da cui esse sono generate e sostenute e in cui devono alla fine tornare a dissolversi.

Il *plenum* tuttavia non va più concepito come un semplice mezzo materiale, come l'etere, esistente in uno spazio tridimensionale. Dobbiamo invece partire dall'olomovimento, che contiene l'immenso 'mare' di energia descritto sopra. Questo mare va concepito in termini di un ordine implicato multidimensionale secondo le linee tracciate nel paragrafo precedente, mentre l'intero universo della materia che noi osserviamo va pensato come un'eccitazione relativamente piccola emergente da questo sfondo. Questa eccitazione è relativamente autonoma e dà origine a proiezioni approssimativamente ricorrenti, stabili e separabili in un ordine di manifestazione esplicato tridimensionale, più o meno equivalente a quello dello spazio che comunemente percepiamo.

Tenendo presente tutto questo, esaminiamo l'idea correntemente accettata che l'universo che noi conosciamo abbia avuto origine quasi da un unico punto nello spazio e nel tempo per effetto di un big bang avvenuto circa diecimila milioni di anni fa. Nel nostro approccio, il big bang va considerato soltanto come 'un'increspatura'. Un'interessante immagine è fornita dal fatto che a volte in mezzo a uno degli oceani terrestri una miriade di piccole onde si incontrano casualmente con relazioni di fase tali da concentrarsi tutte in una regione spaziale ristretta, producendo una grande onda che emerge improvvisamente come dal nulla. Forse una cosa del genere può essere accaduta nell'immenso oceano dell'energia cosmica, creando un impulso improvviso che ha dato origine al nostro 'universo'. L'impulso sarebbe esploso verso l'esterno, rompendosi in increspature minori che continuano a espandersi, formando il nostro attuale 'universo in espansione'. Quest'ultimo avrebbe il proprio 'spazio' inviluppato in sé come un particolare ordine esplicato e manifesto[11].

In termini di questa ipotesi gli attuali tentativi di capire 'l'universo' come se esistesse autonomamente e indipendentemente dal mare di energia cosmica possono essere coronati tutt'al più da un successo parziale, nella misura in

cui all'universo è applicabile il concetto di subtotalità relativamente indipendente. Può darsi che i buchi neri ci portino in un ambito di studio in cui l'energia cosmica di fondo è importante. Inoltre possono esistere molti altri universi in espansione oltre al nostro.

Dobbiamo inoltre ricordare che anche questo vasto mare di energia cosmica tiene conto solo di quello che succede a una scala maggiore della lunghezza critica a cui abbiamo accennato di 10^{-33} cm. Ma questa lunghezza è solo un certo tipo di limite all'applicabilità dei concetti ordinari di spazio e di tempo. Supporre che al di là di questo limite non ci sia nulla sarebbe in verità parecchio arbitrario. Possiamo piuttosto immaginare che al di là di esso vi sia un altro ambito, o insieme di ambiti, della cui natura per ora non abbiamo alcuna idea.

Quel che abbiamo visto finora è una progressione dall'ordine esplicato al semplice ordine implicato tridimensionale, poi ad un ordine implicato multidimensionale, poi ad un'estensione di quest'ultimo all'immenso 'mare' di energia presente in quello che percepiamo come spazio vuoto. Lo stadio successivo potrebbe portare a un ulteriore arricchimento e allargamento del concetto di ordine implicato al di là della soglia citata di 10^{-33} cm oppure potrebbe portare a concetti fondamentalmente nuovi, non comprensibili neppure entro eventuali ulteriori sviluppi dell'ordine implicato. Tuttavia, qualsiasi cosa possa presentarsi in questo ulteriore passo, è chiaro che possiamo ipotizzare che il principio di relativa autonomia delle subtotalità resti valido. Ogni subtotalità, comprese quelle considerate finora, può fino a un certo punto essere studiata autonomamente. Perciò, senza immaginare di essere arrivati neppure a un abbozzo di verità assoluta e finale, possiamo accantonare, almeno per il momento, la necessità di esaminare ciò che può esserci al di là delle immense energie dello spazio vuoto e continuare a esplorare le ulteriori implicazioni della subtotalità di ordine che ci si è rivelata finora.

6. L'ordine implicato, la vita e la forza della necessità complessiva

In questo paragrafo approfondiremo il significato dell'ordine implicato, mostrando prima come esso permetta di comprendere sia la materia inanimata sia la vita a partire da un unico fondamento comune, poi proponendo una certa forma più generale delle sue leggi.

Cominciamo considerando la crescita di una pianta. Questa crescita comincia da un seme, ma il seme contribuisce poco o nulla all'effettiva sostanza materiale della pianta o all'energia necessaria per la sua crescita. Quest'ultima proviene quasi interamente dal terreno, dall'acqua, dall'aria e dalla luce solare. Secondo le teorie moderne, il seme contiene *informazione*, codificata nel DNA, e questa informazione in qualche modo 'guida' l'ambiente a formare un certo tipo di pianta.

In termini dell'ordine implicato, possiamo dire che anche la materia inanimata si mantiene in un processo continuo simile alla crescita di una pianta. Ricordando il modello dell'elettrone rappresentato dalla gocciolina d'inchiostro nel fluido, vediamo che una 'particella' cosiffatta va compresa come un ricorrente e stabile ordine di sviluppo in cui una certa forma si manifesta ripetutamente, subendo mutamenti regolari, ma con tale rapidità da sembrare dotata di esistenza continua. Possiamo confrontarla con una foresta, che è composta di alberi che continuamente muoiono e sono sostituiti da nuovi alberi. Considerata su una scala di tempi molto lunghi, anche la foresta appare come una cosa esistente con continuità in lento mutamento. Perciò, dal punto di vista dell'ordine implicato, la materia inanimata e gli esseri viventi si presentano come fondamentalmente simili nei loro modi di esistenza.

Quando la materia inanimata è lasciata a se stessa, il processo sopra descritto di inviluppo e sviluppo si limita a riprodurre una forma simile di materia inanimata. Ma quando il processo è ulteriormente 'informato' dal seme, esso produce invece un organismo vivente. Alla fine l'organismo pianta dà origine a un nuovo seme, che permette la continuazione del processo dopo la sua morte.

Poiché la pianta è formata, tenuta in vita e dissolta dallo

scambio di materia ed energia con l'ambiente, a che punto possiamo tracciare una netta distinzione fra ciò che è vivente e ciò che non lo è? Chiaramente una molecola di anidride carbonica che attraversa i confini di una cellula per entrare in una foglia non diventa improvvisamente 'viva', né una molecola di ossigeno improvvisamente 'muore' quando viene liberata nell'atmosfera. Piuttosto, la vita stessa va considerata come appartenente in qualche modo a una totalità che comprende la pianta e l'ambiente.

In verità si può dire che la vita sia inviluppata nella totalità e che, anche quando non è manifesta, sia in qualche modo implicita in quella che solitamente chiamiamo una situazione priva di vita. Possiamo illustrare questo fatto considerando l'insieme di tutti gli atomi che sono attualmente nell'ambiente, ma che un giorno costituiranno la pianta che crescerà da un certo seme. Questo insieme è evidentemente sotto certi aspetti fondamentali analogo a quello, descritto nel paragrafo 3, delle particelle d'inchiostro destinate a ricostituire una gocciolina. In entrambi i casi gli elementi dell'insieme sono vincolati a contribuire a un fine comune (in un caso la gocciolina d'inchiostro, nell'altro una pianta vivente).

Quanto sopra non significa tuttavia che la vita sia riducibile all'attività di una base governata esclusivamente dalle leggi della materia inanimata (benché indubbiamente *certe* caratteristiche della vita possono essere comprese in questo modo). Proponiamo invece che, così come il concetto di olomovimento è stato arricchito passando dall'ordine implicato tridimensionale a quello multidimensionale e poi al vasto 'mare' dell'energia nello spazio 'vuoto', possiamo ora arricchirlo ulteriormente dicendo che nella sua totalità esso include anche il principio della vita. La materia inanimata va allora considerata come una subtotalità relativamente autonoma, in cui, almeno per quel che ne sappiamo, la vita non si manifesta significativamente. Vale a dire che la materia inanimata è un'astrazione secondaria, derivata e particolare dall'olomovimento (così come lo sarebbe il concetto di una 'forza vitale' indipendente dalla materia). In verità l'olomovimento, in cui la vita è implicita, è il fondamento sia della 'vita esplicita' sia della 'materia inanimata'; e questo fondamento è la realtà primaria, au-

tonomamente esistente e universale. Perciò non separiamo la vita dalla materia inanimata, né cerchiamo di ridurre la prima completamente a una conseguenza della seconda.

Diamo ora a questo approccio una forma più generale. La cosa fondamentale nella legge dell'olomovimento, come abbiamo visto, è la possibilità di astrarre un insieme di subtotalità relativamente autonome. Ora possiamo aggiungere che le leggi di tali subtotalità astratte funzionano in generale entro certi limiti definiti nell'ambito di una certa situazione complessiva (o di un insieme di situazioni simili). Tali leggi conterranno in generale questi tre elementi base:

1. Un insieme di ordini implicati.

2. Un caso particolare del suddetto insieme, che rappresenta un ordine esplicato di manifestazione.

3. Una relazione (o legge) generale, che esprime una forza di necessità che lega un certo insieme di elementi dell'ordine implicato in modo tale da farli contribuire a un fine esplicato comune (diverso da quello a cui contribuirà un altro insieme di elementi, a essi compenetrati e mescolati).

L'origine di tale forza di necessità non è comprensibile unicamente in termini dell'ordine esplicato e degli ordini implicati appartenenti al tipo di situazione considerato. Anzi, a questo livello tale necessità va semplicemente accettata come inerente alla situazione complessiva data. Per comprenderne le origini dobbiamo calarci a un livello più profondo, più ampio e più interno di relativa autonomia. Quest'ultimo, tuttavia, avrà a sua volta i suoi ordini esplicato e implicati e una corrispondente più profonda e più interna forza di necessità che produce le loro trasformazioni[12].

In breve, proponiamo di considerare questa *forma* della legge di una subtotalità relativamente autonoma, che è una coerente generalizzazione delle forme che abbiamo studiato finora, come universale. Nel seguito di questo lavoro esploreremo le implicazioni di questo concetto, almeno ipoteticamente e provvisoriamente.

7. La coscienza e l'ordine implicato

A questo punto si può dire che almeno qualche traccia della nostra concezione della cosmologia e della natura generale della realtà sia stata abbozzata (benché, naturalmente, 'riempire' questo abbozzo di dettagli appropriati richiederebbe molto lavoro ulteriore, che è in gran parte ancora da fare). Vediamo ora come si possa capire la coscienza in rapporto a questi concetti.

Partiamo dall'ipotesi che in qualche senso la coscienza (in cui includiamo il pensiero, il sentimento, la sensazione, il desiderio, la volizione, eccetera) vada compresa in termini dell'ordine implicato, insieme con la realtà nel suo complesso. Suggeriamo cioè che l'ordine implicato si applichi sia alla materia (vivente e non) sia alla coscienza e che permetta perciò di comprendere la relazione fra queste due cose e di formarci un'immagine del loro fondamento comune (un po' come abbiamo suggerito nel paragrafo precedente di concepire il rapporto fra la materia inanimata e la vita).

Capire la relazione fra materia e coscienza è risultato finora estremamente difficile e la difficoltà è radicata nella grande differenza fra le qualità fondamentali con cui queste due cose si presentano nella nostra esperienza. La differenza è stata espressa con particolare chiarezza da Cartesio, che ha descritto la materia come *res extensa*, 'sostanza estesa', e la coscienza come *res cogitans*, 'sostanza pensante'. Parlando di 'sostanza estesa', Cartesio intendeva qualcosa di costituito da forme distinte esistenti nello spazio, in un ordine di estensione e separazione fondamentalmente simile a quello che abbiamo chiamato ordine esplicato. Contrapponendo tanto nettamente il termine 'sostanza pensante' alla 'sostanza estesa', Cartesio affermava implicitamente che le varie forme che appaiono nel pensiero non esistono in un ordine di estensione e separazione (in un qualche tipo di spazio), bensì in un ordine diverso, in cui estensione e separazione non hanno un significato fondamentale. L'ordine implicato ha appunto questa qualità: perciò in un certo senso Cartesio precorreva forse il fatto che la coscienza va compresa in termini di un ordine più vicino all'implicato che all'esplicato.

Tuttavia quando partiamo, come Cartesio, dall'estensio-

ne e dalla separazione nello spazio come qualità primarie della materia, non troviamo in questa idea nulla che possa fondare una relazione fra materia e coscienza, i cui ordini sono fra loro tanto diversi. Cartesio chiaramente si rese conto di questa difficoltà e propose di risolverla introducendo l'idea che tale relazione sia resa possibile da Dio. Dio, essendo al di fuori e al di là sia della materia sia della coscienza (che sono entrambe sue creazioni), può infondere in quest'ultima 'concetti chiari e distinti' che si applicano correttamente alla *res extensa*. In seguito l'idea di affidare a Dio questo compito è stata in generale abbandonata; ma non ci si è resi conto che così facendo è andata perduta ogni possibilità di comprendere il rapporto fra materia e coscienza.

In questo capitolo tuttavia abbiamo mostrato in maniera abbastanza dettagliata come la materia nel suo complesso sia comprensibile in termini di ordine implicato come sua realtà immediata e primaria (mentre l'ordine esplicato è derivabile come un caso particolare notevole dell'ordine implicato). La domanda che si pone a questo punto è allora se l'ordine implicato non possa essere inteso (come in un certo senso preconizzato da Cartesio) anche come realtà primaria e immediata della 'sostanza' della coscienza. Se fosse possibile comprendere insieme in questo modo materia e coscienza, in termini dello stesso concetto di ordine, avremmo aperto la via ad una comprensione del loro rapporto sulla base di un fondamento comune[13]. Saremmo così arrivati al germe di un nuovo concetto di totalità indivisa, in cui la coscienza non è più fondamentalmente separata dalla materia.

Vediamo ora che giustificazione ci sia per pensare che materia e coscienza abbiano l'ordine implicato come loro comune fondamento. In primo luogo notiamo che la materia in generale è l'oggetto di cui siamo coscienti. Ma, come abbiamo visto nel corso di questo capitolo, varie energie come luce, suono, eccetera, inviluppano continuamente in ogni regione spaziale un'informazione che in linea di principio riguarda l'intero universo della materia. Attraverso questo processo tale informazione può naturalmente attraversare i nostri organi di senso e raggiungere il sistema nervoso e il cervello. Ma, in un senso più profondo, tutta la

materia che costituisce il nostro corpo contiene già in partenza inviluppato in sé in qualche modo l'intero universo. È questa struttura inviluppata di informazione e di materia (presente per esempio nel cervello e nel sistema nervoso) ciò che primariamente raggiunge la coscienza?

Consideriamo dapprima il problema se l'informazione sia in effetti inviluppata nelle cellule cerebrali. Certi lavori sulla struttura del cervello, in particolare quelli di Pribram[14], hanno gettato una certa luce su questo problema. Pribram ha suggerito, con il sostegno di evidenza sperimentale, di intendere la memoria come un tipo di registrazione che coinvolge in generale tutto il cervello, nel senso che l'informazione riguardante un particolare oggetto o una particolare qualità non è immagazzinata in una singola cellula o in una singola regione localizzata del cervello, bensì è inviluppata in tutto il cervello. Questa registrazione assomiglia dunque a un ologramma, benché la sua struttura sia in effetti molto più complicata. Possiamo allora immaginare che, quando la registrazione 'olografica' nel cervello viene attivata in un certo modo, si generi una configurazione di eccitazione nervosa che produce un'esperienza in parte simile a quella che ha originariamente generato 'l'ologramma'. Questa esperienza è nello stesso tempo diversa, in quanto è meno dettagliata, in quanto ricordi di epoche diverse possono fondersi insieme e in quanto i ricordi sono collegati fra loro da associazioni e da nessi logici che introducono un ordine ulteriore nell'intera configurazione. Inoltre, se contemporaneamente all'evocazione del ricordo vengono ricevuti nuovi dati sensoriali, la risposta legata alla memoria si fonde con l'eccitazione nervosa proveniente dai sensi, generando un'esperienza globale in cui memoria, logica e attività sensoriale si intrecciano in un tutto non analizzabile.

Naturalmente la coscienza è più di tutto questo. Coinvolge anche la consapevolezza, l'attenzione, la percezione, atti di comprensione e forse altro ancora. Nel primo capitolo del libro abbiamo suggerito che queste cose vadano al di là di una risposta meccanica (quale il modello olografico del funzionamento del cervello di per sé implicherebbe). Perciò studiandole ci avviciniamo forse di più all'essenza dell'effettiva esperienza cosciente di quanto sia possibile parlando unicamente di configurazioni di eccitazione del siste-

ma nervoso e della loro registrazione nella memoria. È difficile dire un granché di facoltà sottili come queste. Ma riflettendo e facendo attenzione a ciò che succede in certe esperienze, si possono ottenere indicazioni preziose. Considera, per esempio, quello che succede quando si ascolta della musica. In un certo momento viene udita una certa nota: ma nello stesso tempo alcune delle note precedenti continuano a 'riverberare' nella coscienza. Facendo attenzione, scopriamo che proprio alla simultanea presenza e attività di tutti questi riverberi dobbiamo il senso immediato e direttamente percepito di un movimento fluido e continuo. Se ascoltiamo una sequenza di note tanto staccate l'una dall'altra che non c'è questo riverbero, va perduto anche il senso di movimento vivente e indiviso che dà forza e significato alla musica.

È chiaro che non percepiamo l'effettiva realtà di questo movimento unitario 'trattenendo' il passato, ricordando una sequenza di note e confrontandola con il presente. Facendo ulteriormente attenzione, scopriamo che i 'riverberi' che rendono possibile questa esperienza non sono ricordi, bensì trasformazioni attive di ciò che è venuto prima, in cui sono presenti non solo un diffuso senso dei suoni originari, con un'intensità che decresce con il passare del tempo trascorso dal momento in cui sono stati uditi, ma anche varie risposte emotive, sensazioni corporee, movimenti muscolari incipienti e l'evocazione di un'ampia gamma di ulteriori significati, spesso molto sottili. Possiamo così formarci un'impressione diretta di come una sequenza di note venga inviluppata in molti livelli di coscienza e come, in un qualsiasi momento, le trasformazioni che emenano da varie note così inviluppate si compenetrino e si mescolino dando luogo a un senso immediato e primario di movimento.

Questa attività della coscienza presenta un notevole parallelismo con l'attività dell'ordine implicato in generale che abbiamo suggerito. Nel paragrafo 3 di questo capitolo abbiamo visto un modello dell'elettrone in cui in ogni momento sono compresenti numerosi *ensembles* variamente trasformati, che si compenetrano e si mescolano nei loro vari gradi di inviluppo. In tale inviluppo c'è un cambiamento radicale non solo di forma ma anche di struttura dell'intero insieme di *ensembles* (cambiamento che nel capitolo 6

abbiamo chiamato 'metamorfosi'). Eppure una certa totalità di ordine negli *ensembles* resta invariante, nel senso che attraverso tutti questi cambiamenti una sottile ma fondamentale somiglianza d'ordine viene conservata[15].

Nell'ascolto della musica c'è, come abbiamo visto, una trasformazione essenzialmente simile delle note, che anch'essa conserva un certo ordine. La differenza principale fra queste due situazioni sta nel fatto che nel caso del nostro modello dell'elettrone l'ordine inviluppato viene afferrato *dal pensiero* (come compresenza di molti diversi e interrelati gradi di trasformazione di *ensembles*), mentre nel caso della musica viene *percepito immediatamente* (come compresenza di molti diversi e interrelati gradi di trasformazione di tonalità e suoni). In quest'ultima esperienza c'è un senso simultaneamente di tensione e di armonia fra le varie trasformazioni compresenti; e questa tensione è in effetti il fenomeno primario nella percezione della musica come fluido e indiviso movimento.

Ascoltando musica perciò *percepiamo direttamente un ordine implicato*. E quest'ordine è evidentemente *attivo*, nel senso che fluisce continuamente in risposte emotive, fisiche e di altro genere che sono inseparabili dalle trasformazioni che lo costituiscono.

Un concetto simile si applica alla visione. Per rendercene conto possiamo esaminare il senso di movimento che abbiamo guardando un film. Quello che sta in effetti accadendo è che una serie di immagini leggermente diverse l'una dall'altra vengono proiettate in rapida successione sullo schermo. Se le immagini sono separate da lunghi intervalli di tempo non abbiamo la sensazione di un moto continuo, bensì di una serie di immagini staccate, magari accompagnate da un senso di movimento brusco e discontinuo. Ma se le immagini sono abbastanza ravvicinate (diciamo separate da un centesimo di secondo) si produce una sensazione diretta e immediata di movimento fluido e continuo, senza fratture.

Questo punto può essere messo in evidenza ancora più chiaramente considerando una ben nota illusione ottica di movimento, prodotta dallo strumento stroboscopico illustrato schematicamente nella figura 7.2.

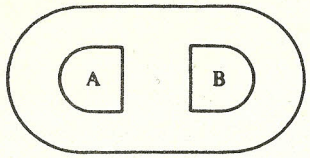

Figura 7.2

Una lampadina contiene due dischi, A e B, ciascuno dei quali può essere eccitato elettricamente ed emettere luce. La luce viene fatta lampeggiare tanto rapidamente da sembrare continua, ma in ciascun lampo il disco B viene eccitato leggermente dopo il disco A. Quello che si percepisce è un senso di 'flusso continuo' da A a B, in cui però paradossalmente nulla fluisce al di là di B, contrariamente a quello che ci aspetteremmo in un flusso reale. Questo significa che un senso di movimento fluido si produce quando sulla retina dell'occhio si formano due immagini in posizioni vicine, una delle quali si 'accende' leggermente dopo l'altra. (Un fenomeno strettamente legato a questo è il fatto che una foto 'mossa' di un'auto in movimento, contenente una serie di immagini sovrapposte in posizioni leggermente diverse, ci comunica un senso di movimento molto più immediato e vivido di una fotografia dai contorni netti, scattata con un tempo di esposizione molto breve.)

Sembra evidente che il senso di movimento continuo sopra descritto assomiglia essenzialmente a quello che nasce da una sequenza di note musicali. La differenza principale sta nel fatto che le immagini visive si susseguono così rapidamente nel tempo che sono inseparabili per la coscienza. Tuttavia è chiaro che anche le immagini visive sono sottoposte a trasformazioni attive nel loro 'invilupparsi' nel cervello e nel sistema nervoso (per esempio esse generano risposte emotive, fisiche e altre di natura più sottile di cui possiamo essere solo vagamente coscienti, oltre a 'immagini persistenti' che sono per un certo verso analoghe al riverbero delle note musicali). Pur essendo la separazione temporale di queste immagini molto piccola, gli esempi citati dimostrano che il senso di movimento risulta dalla compenetrazione e dal mescolamento delle trasformazioni com-

presenti a cui le immagini danno origine penetrando nel cervello e nel sistema nervoso.

Tutto questo suggerisce che in generale (e non solo per il caso particolare dell'ascolto musicale) ci sia una somiglianza fra l'ordine della nostra esperienza immediata del movimento e l'ordine implicato che il nostro pensiero può afferrare. Concepiamo così la possibilità di comprendere coerentemente l'esperienza immediata del movimento in termini del pensiero (risolvendo di fatto il paradosso di Zenone sul movimento).

Per vedere come ciò sia possibile, consideriamo il modo in cui solitamente pensiamo il movimento, in termini di una serie di punti su una linea. Supponiamo che a un istante t_1 una particella si trovi nella posizione x_1 e a un istante successivo t_2 nella posizione x_2. Diciamo allora che la particella è in movimento e che la sua velocità è

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Naturalmente questo modo di pensare non riflette o esprime in alcun modo il senso immediato di movimento che possiamo avere in un dato momento, per esempio quando una sequenza di note musicali riverbera nella nostra coscienza (o quando vediamo un'auto in corsa). È piuttosto solo una rappresentazione simbolica astratta del movimento, il cui rapporto con il movimento effettivo è simile a quello fra una partitura musicale e l'effettiva esperienza della musica.

Se, come si fa in genere, prendiamo questa rappresentazione simbolica astratta per una rappresentazione fedele della realtà del movimento, restiamo impigliati in una serie di dilemmi confusi e fondamentalmente insolubili. Questi problemi hanno tutti a che fare con l'immagine che ci facciamo del tempo come una serie di punti lungo una linea, tutti in qualche modo compresenti al nostro sguardo concettuale, o forse a quello di Dio. Ma la nostra esperienza effettiva è che, quando un dato momento, per esempio t_2, è presente, un momento precedente, per esempio t_1, è passato. Vale a dire che è inesistente, se ne è andato per non tornare mai più. Perciò, se diciamo che la velocità di un par-

ticolare *ora* (all'istante t_2) è $(x_2 - x_1)/(t_2 - t_1)$, cerchiamo di rapportare *ciò che è* (cioè x_2 e t_2) a *ciò che non è* (cioè x_1 e t_1). Possiamo farlo, naturalmente, in senso *astratto* e *simbolico* (come di fatto si fa normalmente nelle scienze e in matematica); ma il fatto ulteriore, non compreso in questo simbolismo astratto, è che la velocità *ora* è attiva *ora* (per esempio determina come una particella si comporterà d'ora in poi, sia di per sé sia in rapporto ad altre particelle). Come possiamo concepire l'attività *attuale* di una posizione (x_1) che è ora inesistente e scomparsa per sempre?

Comunemente si ritiene che questo problema sia risolto dal calcolo differenziale. Quel che si fa nel calcolo differenziale è far diventare l'intervallo temporale $\Delta t = t_2 - t_1$ infinitamente piccolo, insieme con la distanza spaziale $\Delta x = x_2 - x_1$. La velocità ora viene definita come il limite del rapporto $\Delta x/\Delta t$ quando Δt tende a zero. Si ritiene allora che il problema descritto non sorga più, perché x_2 e x_1 sono praticamente posizioni simultanee. Possono dunque essere compresenti e in relazione fra loro in un'attività che dipende da entrambi.

Un po' di riflessione mostra tuttavia che questo procedimento non è meno astratto e simbolico di quello originario in cui l'intervallo temporale era finito. Non abbiamo un'esperienza immediata di un intervallo temporale di lunghezza zero, né siamo in grado di concepire con il pensiero che cosa esso possa significare.

Anche come formalismo astratto questo approccio non è del tutto coerente in senso logico, né ha un campo di applicabilità universale. Esso si applica solo ai movimenti *continui* e anche qui solo come algoritmo tecnico fortuitamente corretto per questo genere di movimento. Ma, come abbiamo visto, secondo la teoria quantistica il movimento *non* è fondamentalmente continuo. Perciò anche come algoritmo il suo attuale campo di applicabilità è limitato alle teorie espresse in termini classici (cioè nell'ordine esplicato), dove esso fornisce una buona approssimazione per calcolare il movimento di oggetti materiali.

Quando pensiamo il movimento in termini dell'ordine implicato[16] questi problemi non sorgono. In esso il movimento è compreso in termini di una serie di elementi che

si compenetrano e si mescolano in vari gradi di inviluppo, *tutti simultaneamente presenti*. L'attività di questo movimento allora non presenta difficoltà, perché risulta dall'intero ordine inviluppato ed è determinata da relazioni fra elementi compresenti, anziché da relazioni fra elementi esistenti e altri non più esistenti.

Pensando in termini di ordine implicato arriviamo perciò a un concetto di movimento logicamente coerente e capace di rappresentare correttamente la nostra esperienza immediata del movimento. È possibile così porre fine alla radicale frattura fra pensiero logico astratto ed esperienza immediata concreta che ha pervaso la nostra cultura tanto a lungo. Si crea la possibilità di un indiviso e fluido movimento dall'esperienza immediata al pensiero logico e viceversa, mettendo fine a questo tipo di frammentazione.

Inoltre siamo ora in grado di capire in un senso nuovo e più coerente la nostra concezione della natura generale della realtà, secondo la quale *ciò che è* è il movimento. Ciò che ci rende difficile usare questo concetto è il fatto che di solito pensiamo il movimento nel modo tradizionale come relazione attiva fra ciò che è e ciò che non è. La nostra concezione della realtà è allora equivalente a dire che *ciò che è* è una relazione attiva fra ciò che è e ciò che non è. Questa affermazione è come minimo confusa. Ma in termini dell'ordine implicato il movimento è una relazione fra certe fasi di *ciò che è* e altre fasi di *ciò che è*, a diversi stadi di inviluppo. L'essenza della realtà come totalità è questa relazione fra le varie fasi a vari stadi di inviluppo (anziché, per esempio, la relazione fra vari campi e particelle tutti esplicati e manifesti).

Naturalmente l'effettivo movimento comporta qualcosa di più del puro senso intuitivo immediato di flusso indiviso che è il nostro modo di percepire direttamente l'ordine implicato. La presenza di un tale senso di flusso di solito implica che il momento successivo lo stato di cose cambi effettivamente, cioè sia diverso. Come dobbiamo capire questo fatto esperienziale in termini dell'ordine implicato?

Un indizio prezioso è fornito da un attento esame di che cosa succede quando, nel nostro pensiero, diciamo che un insieme di idee è *implicito* in un altro completamente diverso. Naturalmente la parola 'implicito' ha la stessa radi-

ce di 'implicato' e perciò contiene l'idea di inviluppo. In verità, quando diciamo che una certa cosa è *implicita*, in genere intendiamo qualcosa di più del semplice fatto che questa cosa si deduce da un'altra attraverso le regole della logica. Di solito intendiamo piuttosto che da molte idee e concetti (alcuni dei quali sono esplicitamente coscienti) emerge un nuovo concetto che in qualche modo li unifica tutti in una totalità concreta e indivisa.

Vediamo allora che ciascun momento della coscienza ha un certo contenuto *esplicito*, che è in primo piano, e un contenuto *implicito*, che è il corrispondente sfondo. Noi proponiamo ora non solo che l'esperienza immediata sia comprensibile in termini dell'ordine implicato, ma anche che il pensiero vada essenzialmente compreso in termini dello stesso ordine. In questo non includiamo solo il *contenuto* del pensiero, per cui abbiamo già cominciato a usare l'ordine implicato, ma anche l'effettiva *struttura*, *funzione* e *attività* del pensiero. Perciò qui assumiamo che la distinzione fra implicito ed esplicito nel pensiero sia essenzialmente equivalente alla distinzione fra implicato ed esplicato nella materia in generale.

Per chiarire che cosa ciò significhi, ricordiamo brevemente la forma basilare della legge di una subtotalità (discussa nei paragrafi 3 e 6), cioè il fatto che gli elementi inviluppati di un *ensemble* caratteristico (per esempio di particelle d'inchiosto o di atomi) che costituiranno il successivo stadio di sviluppo sono legati fra loro da una forza di necessità complessiva, che li porta a contribuire insieme al fine comune che emergerà nella fase successiva. Analogamente, proponiamo che l'insieme di elementi inviluppati nel cervello e nel sistema nervoso che costituiranno lo stadio successivo di sviluppo di una linea di pensiero siano anch'essi legati da una forza di necessità complessiva, che li porta a contribuire insieme al concetto comune che emergerà nel successivo momento di coscienza.

In questo studio abbiamo descritto la coscienza in termini di una serie di momenti. L'attenzione mostra tuttavia che un dato momento non è definibile esattamente in rapporto al tempo (per esempio misurato da un orologio), bensì copre una certa durata abbastanza vagamente definita e variabile. Come abbiamo indicato in precedenza, ogni momento viene percepito direttamente nell'ordine implicato. Abbiamo visto inoltre che, attraverso la forza di necessità corrispondente alla situazione complessiva, ciascun momento dà origine al momento successivo, in cui un contenuto che era prima implicato diviene esplicato, mentre il precedente contenuto esplicato diviene implicato (come accade, per esempio, nell'analogia delle goccioline d'inchiostro).

Questo processo descrive come il cambiamento avvenga da un momento all'altro. In linea di principio, in qualsiasi momento il cambiamento potrebbe essere una trasformazione fondamentale e radicale. Ma l'esperienza mostra che nel pensiero come nella materia in generale c'è di solito una buona dose di ricorrenza e di stabilità, che permette l'esistenza di subtotalità relativamente indipendenti.

Ciascuna subtotalità cosiffatta contiene la possibilità della continuazione di una certa linea di pensiero che si sviluppa attraverso un mutamento relativamente regolare. Evidentemente il carattere preciso di una tale sequenza di pensieri, nel suo sviluppo da un momento all'altro, dipende dal contenuto dell'ordine implicato nei momenti precedenti. Per esempio, un momento che contiene un senso di movimento tende a essere seguito da un cambiamento, in generale tanto maggiore quanto più forte era il senso di movimento che l'ha preceduto. (Perciò, quando ciò non accade, come nel caso del dispositivo stroboscopico descritto sopra, abbiamo la sensazione di incontrare qualcosa di sorprendente e paradossale.)

Come abbiamo fatto in precedenza per la materia in generale, dobbiamo ora addentrarci nel problema di come nella coscienza l'ordine esplicato rappresenti ciò che è manifesto. Come mostrano l'osservazione e l'attenzione (tenendo presente che 'manifesto' significa ricorrente, stabile e separabile), il contenuto manifesto della coscienza è basato essenzialmente sulla memoria, che permette a tale contenuto di essere trattenuto in forma relativamente costante. Naturalmente questa relativa costanza richiede che il contenuto sia organizzato non solo attraverso associazioni relativamente fisse, ma anche in termini delle regole della logica e delle nostre categorie fondamentali di spazio, tempo, causalità, universalità, eccetera. In questo modo è possibile sviluppare un sistema complessivo di concetti e di im-

magini mentali che costituisce una rappresentazione più o meno fedele del 'mondo manifesto'.

Il processo del pensiero, tuttavia, non è soltanto una *rappresentazione* del mondo manifesto; esso *contribuisce* anche in misura importante al modo in cui percepiamo questo mondo, perché, come abbiamo già sottolineato, la nostra esperienza del mondo è una fusione di informazione sensoriale e di *replay* di una parte del contenuto della memoria (che incorpora il pensiero nella propria forma e nel proprio ordine). In questa esperienza c'è un forte sfondo di caratteristiche ricorrenti, stabili e separabili; su questo sfondo gli aspetti transitori e mutevoli dell'indiviso flusso dell'esperienza si stagliano come impressioni fuggevoli che tendono a venire organizzate e ordinate soprattutto in termini della vasta totalità del contenuto relativamente statico e frammentato delle registrazioni del passato.

Esiste, di fatto, una quantità notevole di dati sperimentali che mostrano quanta della nostra esperienza cosciente sia una costruzione basata sulla memoria ed organizzata dal pensiero nella maniera sopra descritta[17]. Addentrarci in dettaglio in questo tema ci porterebbe troppo lontano dal filo del nostro discorso. Può essere utile tuttavia citare il fatto che Piaget[18] ha mostrato come la coscienza di quello che è per noi l'ordine familiare di spazio, tempo, causalità, eccetera (che è essenzialmente quello che abbiamo chiamato l'ordine esplicato), funzioni molto poco nelle prime fasi di vita di un essere umano. Invece, come egli dimostra sulla base di attente osservazioni, in genere i bambini *imparano* questo contenuto prima nell'area dell'esperienza sensorimotoria e poi, crescendo, lo collegano con la sua espressione nel linguaggio e nella logica. La consapevolezza immediata del movimento, invece, sembra essere presente fin dai primissimi momenti di vita. Ricordando che il movimento viene percepito primariamente in termini di ordine implicato, il lavoro di Piaget avvalora l'idea che l'esperienza dell'ordine implicato sia fondamentalmente molto più immediata e diretta di quella dell'ordine esplicato, che, come abbiamo detto, richiede una complessa costruzione che dev'essere appresa.

Una ragione per cui non ci rendiamo conto in generale del primato dell'ordine implicato è che ci siamo tanto abituati all'ordine esplicato e lo abbiamo tanto sottolineato nel nostro pensiero e nel linguaggio che tendiamo fortemente a identificare la nostra esperienza primaria con ciò che è esplicato e manifesto. Ma un'altra ragione, forse ancora più importante, è il fatto che l'attivazione della memoria, il cui contenuto è soprattutto ciò che è ricorrente, stabile e separabile, non può che contribuire a focalizzare la nostra attenzione molto fortemente su ciò che è statico e frammentario.

Tutto questo contribuisce alla formazione di un'esperienza in cui le caratteristiche statiche e frammentarie sono tanto intense che le caratteristiche più transitorie e sottili del flusso indiviso (per esempio, le 'trasformazioni' delle note musicali) tendono a impallidire e a diventare tanto insignificanti che ne siamo tutt'al più vagamente coscienti. Si genera così l'illusione che fa sì che il contenuto manifesto statico e frammentario della coscienza sia percepito come la base stessa della realtà; e questa illusione fornisce un'apparente conferma della correttezza del modo di pensare che assume il suddetto contenuto manifesto come fondamentale[19].

8. La materia, la coscienza e il loro fondamento comune

All'inizio del paragrafo precedente abbiamo suggerito che materia e coscienza siano entrambe comprensibili in termini dell'ordine implicato. Mostreremo ora come i concetti di ordine implicato che abbiamo sviluppato in rapporto alla coscienza si leghino a quelli relativi alla materia, permettendoci di capire come esse possano avere un fondamento comune.

Cominciamo ricordando che (come indicato nei capitoli 1 e 5) le attuali teorie relativistiche descrivono l'intera realtà in termini di un processo il cui elemento ultimo è un evento puntiforme, cioè qualcosa che accade in una regione dello spazio e del tempo relativamente piccola. Noi proponiamo invece di assumere come elemento fondamentale un momento, che, come il momento della coscienza, non è precisamente rapportabile a misure di spazio e di tempo, bensì copre una regione che ha un'estensione nello spazio e una

durata nel tempo definite in maniera relativamente vaga. L'estensione e la durata di un momento possono variare da piccolissime a molto grandi, secondo il contesto in discussione: per esempio, un secolo può essere un 'momento' nella storia dell'umanità. Come avviene nella coscienza, ogni momento ha un certo ordine esplicato e inoltre inviluppa tutti gli altri ordini, benché a suo modo. Perciò il rapporto che ciascun momento nel tutto ha con gli altri risulta dal suo contenuto totale, dal modo in cui 'contiene' tutti gli altri momenti inviluppati in sé.

Sotto certi aspetti quest'idea assomiglia alle monadi di Leibniz, ciascuna delle quali 'rispecchia' a suo modo il tutto, alcune in gran dettaglio, altre piuttosto vagamente. La differenza è che le monadi di Leibniz hanno un'esistenza permanente, mentre i nostri elementi fondamentali sono, in quanto solo momenti, impermanenti. L'idea di *actual occasions* ('occasioni effettive' o 'attuali') di Whitehead è più vicina a quella qui proposta: la differenza principale sta nel fatto che noi ci serviamo dell'ordine implicato per esprimere le qualità e le relazioni dei nostri momenti, mentre Whitehead lo fa in modo piuttosto diverso.

Ricordiamo ora che le leggi dell'ordine implicato fanno sì che esista una subtotalità relativamente indipendente, ricorrente e stabile che costituisce l'ordine esplicato, che è fondamentalmente l'ordine con cui entriamo in contatto nell'esperienza comune (estesa per certi versi dai nostri strumenti scientifici). Quest'ordine ha in sé qualcosa come una memoria, nel senso che i momenti precedenti lasciano generalmente una traccia (di solito inviluppata) che perdura attraverso i momenti successivi, pur potendo mutare e trasformarsi in misura quasi illimitata. A partire da queste tracce (per esempio nelle rocce) possiamo in linea di principio farci un'immagine dei momenti passati per certi versi simile a ciò che è effettivamente accaduto. E valendoci di queste tracce possiamo costruire strumenti, come la macchina fotografica, il registratore e la memoria del computer, che ci forniscono una registrazione dei momenti passati tale da permetterci di accedere a una parte molto maggiore del loro contenuto di quanto in genere accade con le sole tracce naturali.

Si può dire in verità che la nostra memoria sia un caso

particolare di quanto sopra descritto, perché tutto ciò che essa registra è inviluppato nelle cellule del cervello, che fanno parte della materia. La ricorrenza e stabilità della memoria come subtotalità relativamente indipendente della coscienza deriva quindi dallo stesso processo che sostiene la stabilità e ricorrenza dell'ordine manifesto della materia in generale.

Da ciò consegue che l'ordine esplicato e manifesto della coscienza non è in senso ultimo distinto da quello della materia in generale. Fondamentalmente sono solo aspetti diversi di uno stesso ordine complessivo. Questo spiega un fatto fondamentale a cui abbiamo alluso in precedenza, cioè che l'ordine esplicato della materia in generale è anche essenzialmente l'ordine esplicato dei sensi che si presenta alla coscienza nell'esperienza ordinaria.

Non solo da questo punto di vista, ma anche sotto molti altri aspetti importanti la coscienza e la materia in generale sono fondamentalmente lo stesso ordine (cioè l'ordine implicato nella sua totalità). Come abbiamo detto, quest'ordine è ciò che permette una relazione fra le due cose. Ma che cosa possiamo dire più specificamente della natura di questa relazione?

Possiamo cominciare considerando il singolo essere umano come una subtotalità relativamente indipendente, il cui processo complessivo (fisico, chimico, neurologico, mentale, eccetera) presenta una sufficiente ricorrenza e stabilità da permettergli di esistere per un certo periodo di tempo. Sappiamo che in questo processo lo stato fisico influisce sul contenuto della coscienza in molti modi (l'esempio più semplice è rappresentato dal fatto che eccitazioni nervose possono manifestarsi alla coscienza come sensazioni). Viceversa il contenuto della coscienza influisce sullo stato fisico (per esempio, a partire da un'intenzione cosciente possono verificarsi un'eccitazione nervosa, il movimento di muscoli, alterazioni nel ritmo cardiaco, nell'attività ghiandolare, nella chimica del sangue, eccetera).

Questa connessione fra mente e corpo è comunemente detta 'psicosomatica' (dal greco *psyche*, che significa 'mente', e *soma*, che significa 'corpo'). Tuttavia la parola viene generalmente usata in modo tale da suggerire che mente e corpo siano enti separatamente esistenti e connessi fra

loro da qualche tipo di interazione. Un tale significato non è compatibile con il concetto di ordine implicato. Nell'ordine implicato la mente inviluppa la materia in generale e quindi il corpo in particolare; e analogamente il corpo inviluppa non solo la mente, ma anche in un certo senso l'intero universo materiale (sia attraverso i sensi, sia attraverso il fatto che gli atomi che costituiscono il corpo sono in effetti strutture inviluppate in linea di principio attraverso l'intero spazio).

Abbiamo già incontrato questo tipo di relazione nel paragrafo 4, dove abbiamo introdotto il concetto di una realtà di dimensione più alta che si *proietta* in elementi di dimensione inferiore, i quali non solo presentano una relazione nonlocale e acausale fra loro, ma anche esattamente quel tipo di mutuo inviluppo che abbiamo suggerito per la mente e il corpo. Perciò siamo condotti a proporre ulteriormente che la realtà più ampia, profonda e interna non sia né mente né corpo, ma piuttosto una realtà di dimensione più alta, che è il loro fondamento comune e la cui natura li trascende entrambi. Mente e corpo sono allora soltanto delle subtotalità relativamente indipendenti, la cui relativa indipendenza deriva dal fondamento di dimensione più alta in cui essi sono in senso ultimo una cosa sola (così come la relativa indipendenza dell'ordine manifesto ha il suo fondamento nell'ordine implicato).

In questo fondamento di dimensione più alta prevale l'ordine implicato. Perciò in questo fondamento *ciò che è* è il movimento, che il pensiero si rappresenta come compresenza di varie fasi dell'ordine implicato. Come accade con le forme più semplici di ordine implicato considerate in precedenza, in ciascun momento lo stato di movimento si sviluppa per effetto di una forza di necessità interna implicita nello stato di cose complessivo, generando un nuovo stato di cose il momento successivo. Nel momento sucessivo le proiezioni del fondamento di dimensione più alta sotto forma di mente e corpo sono entrambe diverse da ciò che erano nel momento precedente, benché le loro differenze siano correlate. Perciò non diciamo che mente e corpo esercitano influenze causali l'una sull'altro, bensì che i movimenti di ambedue sono effetto di proiezioni correlate di un fondamento comune di dimensione più alta.

Evidentemente anche questo fondamento comune di mente e corpo è limitato. Come minimo dobbiamo evidentemente includere la materia al di là del corpo, se vogliamo dare una descrizione adeguata di ciò che succede in un essere umano, e questo deve a un certo punto abbracciare altri individui, la società, l'umanità nel suo complesso. Allargando il discorso in questo modo, dobbiamo tuttavia stare attenti a non ricadere nella tentazione di attribuire ai vari elementi di ogni situazione complessiva qualcosa di più di un'indipendenza relativa. In un senso più profondo e più appropriato, ciascuno di questi elementi è una proiezione di una subtotalità di 'dimensione' ancora più alta. Perciò è equivoco e in verità erroneo supporre che ciascun essere umano sia una realtà indipendente che interagisce con altri esseri umani e con la natura circostante. Tutte queste cose sono invece proiezioni di un'unica totalità. Nel partecipare al processo di questa totalità, l'essere umano viene fondamentalmente trasformato nel corso di quella stessa attività in cui il suo fine è modificare la realtà che è il contenuto della sua coscienza. Non tenere conto di questo introduce inevitabilmente una grave e continua confusione in tutto quello che facciamo.

Anche dal lato della mente vediamo che è necessario passare a un fondamento più inclusivo. Come abbiamo visto, il contenuto esplicito e facilmente accessibile della coscienza è incluso in uno sfondo implicito (o implicato) molto più grande. Questo a sua volta evidentemente dovrà essere contenuto in uno sfondo più ampio, che potrà includere non solo i processi neurofisiologici a livelli di cui non siamo in generale coscienti, ma anche uno sfondo ancora più ampio di profondità interiori sconosciute (e in senso ultimo inconoscibili), forse analogo al 'mare' di energia che riempie lo spazio vuoto percepito dai sensi[20].

Qualsiasi possa essere la natura di queste profondità interne, esse sono il fondamento sia del contenuto esplicito della coscienza sia di quel contenuto che di solito chiamiamo implicito. Benché questo fondamento possa non apparire alla coscienza ordinaria, esso è tuttavia presente in un certo modo. Proprio come percepiamo il vasto 'mare' di energia nello spazio come un *senso* di vuoto, di nulla, così il vasto sfondo 'inconscio' della coscienza esplicita è pre-

sente in modo analogo. Vale a dire che esso può essere *sentito* come un grande vuoto, un nulla, rispetto al quale il contenuto manifesto della coscienza è solo un insieme infinitesimo di sfaccettature.

Consideriamo ora brevemente che cosa si possa dire del tempo in questo ordine totale della materia e della coscienza.

In primo luogo è ben noto che la diretta percezione del tempo nella coscienza è altamente variabile e relativa alla situazione esistenziale (per esempio, un dato periodo di tempo può apparire breve o lungo a persone diverse, o anche alla stessa persona a seconda degli interessi delle varie persone coinvolte). D'altro canto nell'esperienza comune sembra che il tempo fisico abbia un carattere assoluto e indipendente dalle situazioni. Ma una delle implicazioni più importanti della teoria della relatività è il fatto che il tempo è in verità relativo, nel senso che esso varia con la velocità dell'osservatore. (Questa variazione, tuttavia, è significativa solo se ci avviciniamo alla velocità della luce, mentre è trascurabile nelle condizioni dell'esperienza ordinaria.) Il punto cruciale, in questo contesto, è il fatto che secondo la teoria della relatività non è possibile distinguere nettamente lo spazio dal tempo (se non come approssimazione valida per velocità piccole in confronto a quella della luce). Allora, dato che la teoria quantistica implica che elementi fra loro spazialmente separati siano in generale proiezioni acausalmente e nonlocalmente correlate di una realtà di dimensione più alta, segue che dobbiamo concepire nello stesso modo anche i momenti separati fra loro nel tempo.

Evidentemente questo ci porta a una concezione fondamentalmente nuova del significato del tempo. Sia nell'esperienza comune, sia nella fisica, il tempo è stato in generale considerato finora un ordine primario, indipendente e universalmente applicabile, forse il più fondamentale fra tutti quelli che conosciamo. Ora siamo indotti a proporre di concepirlo come secondario e, come lo spazio (*vedi* paragrafo 5), derivabile come ordine particolare da un fondamento di dimensione più alta. In verità possiamo supporre che da questo fondamento siano derivabili vari ordini temporali interrelati, per vari insiemi di sequenze di momenti,

corrispondenti a sistemi materiali che si muovono con velocità diverse. Tutti questi ordini, tuttavia, dipendono da una realtà multidimensionale non interamente comprensibile in termini di alcun ordine temporale (o insieme di tali ordini).

Similmente siamo portati a proporre che questa realtà multidimensionale proietti vari ordini di sequenze di momenti nella coscienza. Alludiamo qui non solo alla relatività del tempo psicologico a cui abbiamo accennato, ma anche a implicazioni molto più sottili. Per esempio, due persone che si conoscono bene possono separarsi per un lungo periodo (in termini della sequenza di momenti misurata da un orologio) e quando si ritrovano 'ricominciare da dove si erano lasciati', come se il tempo non fosse trascorso affatto. Quello che qui proponiamo è che sequenze che 'saltano dei momenti intermedi' siano ordini temporali altrettanto permissibili di quelli che ci appaiono come sequenze continue[21].

La legge fondamentale, allora, è quella dell'immenso fondamento multidimensionale e le proiezioni di questo fondamento determinano quali ordini temporali possano esistere. Naturalmente la legge fondamentale può essere tale che in certi casi limite l'ordine dei momenti rispecchi approssimativamente quello corrispondente a una semplice legge causale. Oppure, in un diverso caso limite, l'ordine può essere un ordine complesso di alto grado, che (come descritto nel capitolo 5) approssima quello che chiamiamo un ordine casuale. Queste due alternative coprono gran parte di ciò che succede nell'ambito dell'esperienza ordinaria e in quello della fisica classica. Ma nell'ambito quantistico e in quello della coscienza, così come probabilmente per quanto riguarda la comprensione dell'essenza più profonda e interna della vita, tali approssimazioni sono inadeguate. In questi contesti occorre passare a considerare il tempo come una realtà multidimensionale che si proietta in una sequenza di momenti.

Tale proiezione può essere descritta come creativa anziché meccanica, in quanto creatività significa semplicemente il sorgere di un nuovo contenuto, che si sviluppa in una sequenza di momenti non completamente derivabile dai momenti che l'hanno preceduta. La nostra proposta è allora

che il movimento sia essenzialmente un tale emergere di nuovo contenuto, proiezione del fondamento multidimensionale della realtà. In questa prospettiva ciò che è meccanico è una subtotalità relativamente autonoma, che può venire astratta da quello che è essenzialmente un movimento creativo di sviluppo.

Come dobbiamo allora concepire l'evoluzione della vita così com'essa è ordinariamente formulata in biologia? In primo luogo dobbiamo sottolineare che il termine 'evoluzione' (il cui significato letterale è uno 'srotolare') ha una connotazione troppo meccanica per servirci adeguatamente in questo contesto. Piuttosto, come abbiamo accennato sopra, possiamo concepire le varie forme viventi come una sequenza di sviluppi creativi. Le forme successive non sono completamente derivabili da quelle che le hanno precedute attraverso un processo di causa ed effetto (benché in una certa approssimazione un processo causale di questo genere possa spiegare certi aspetti limitati della sequenza). La legge di sviluppo non è correttamente comprensibile se non si considera l'immensa realtà multidimensionale di cui essa è una proiezione (salvo che nella rozza approssimazione in cui le implicazioni della teoria quantistica e di ciò che sta al di là di essa siano trascurabili).

Il nostro approccio complessivo ha dunque unificato domande relative alla natura del cosmo, della materia, della vita e della coscienza. Tutte queste cose vanno considerate come proiezioni di un fondamento comune. Questo fondamento possiamo chiamarlo il fondamento di tutto ciò che è, almeno nella misura in cui siamo in grado di percepirlo e conoscerlo in questa nostra fase dell'evoluzione della coscienza. Benché non abbiamo una dettagliata percezione o conoscenza di questo fondamento, esso è tuttavia in un certo senso inviluppato nella nostra coscienza, nei modi a cui abbiamo accennato, così come forse in altri ancora da scoprire.

Questo fondamento è il punto d'arrivo assoluto e finale di ogni conoscenza? Nella visione che proponiamo della 'totalità di tutto ciò che è', anche questo fondamento va considerato solo come uno stadio, nel senso che potrebbe in linea di principio esistere un infinito sviluppo al di là di esso. In ciascun momento di questo sviluppo ogni visione che

potrà emergere costituirà tutt'al più una *proposta*. Non andrà presa come un'*assunzione*, e ancor meno come una *conclusione*, sulla verità finale. La proposta diverrà invece essa stessa un fattore attivo nella totalità dell'esistenza, che ci comprende insieme con gli oggetti del nostro pensiero e le nostre attività di ricerca. Ogni ulteriore proposta, in questo processo di sviluppo, dovrà come quelle precedenti risultare *praticabile*. Vale a dire che dovrà essere coerente in se stessa e coerente anche in ciò che da essa fluisce nella vita come totalità. In forza di una necessità più profonda e più interna in questa totalità potranno emergere nuovi stati di cose, in cui sia il mondo come noi lo conosciamo, sia le nostre idee in merito a esso subiranno un processo senza fine di ulteriori mutamenti.

Con questo abbiamo essenzialmente portato la presentazione della nostra cosmologia e della nostra concezione generale della natura della totalità a un naturale (benché ovviamente solo temporaneo) punto di arresto. Da qui in avanti possiamo riesaminarla ulteriormente come un tutto, e forse completare alcuni dettagli omessi in questa trattazione necessariamente sommaria, prima di passare a nuovi sviluppi dei tipi sopra indicati.

NOTE

[1] *Vedi* 'Re-Vision', vol. 3, n. 4, 1978, per una diversa trattazione di questo tema.

[2] *Vedi* D. Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1957, capitolo 2, per un'ulteriore discussione di questo punto.

[3] Per una discussione più dettagliata di questo punto *vedi* per esempio D. Bohm e B. Hiley 'Foundations of Physics', vol. 5, 1975, pag. 93.

[4] Per una discussione dettagliata di questo esperimento *vedi* D. Bohm *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York, 1951, capitolo 22.

[5] *Vedi* D. Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*, capitolo 2, per una discussione di questa caratteristica del 'meccanicismo indeterministico'.

[6] Per una trattazione più dettagliata di questa caratteristica della teoria quantistica *vedi* D. Bohm e B. Hiley *Foundations of Physics*, vol. 5, 1975, pag. 93, e D. Bohm *Quantum Theory*, Prentice-Hall, New York, 1951.

[7] Matematicamente tutte le proprietà del sistema vengono derivate da

una 'funzione d'onda' 3*N*-dimensionale (dove *N* è il numero di particelle), non rappresentabile nello spazio tridimensionale soltanto. Fisicamente si trova la relazione nonlocale e acausale fra elementi distanti sopra descritta, che corrisponde molto bene alle implicazioni delle equazioni matematiche.

[8] Particolarmente quelle in cui la 'funzione d'onda' del sistema combinato è approssimativamente fattorizzabile nel prodotto di due funzioni d'onda tridimensionali (come mostrato in Bohm e Hiley *op. cit.*)

[9] Questo è un esempio della combinazione di proprietà ondulatorie e particellari della materia descritta nel paragrafo 2.

[10] Questo tipo di calcolo è suggerito in D. Bohm *Causality and Chance in Modern Physics*, Routledge & Kegan Paul, Londra, 1957, pag. 163.

[11] Nel paragrafo 8 vedremo che anche il tempo, oltre allo spazio, può essere inviluppato in questo modo.

[12] Confronta quanto detto con l'idea di sottosistema, sistema e supersistema suggerita in Bohm e Hiley *op. cit.*

[13] Questa idea è già stata suggerita in modo preliminare nel capitolo 3.

[14] *Vedi* K. Pribram *Languages of the Brain*, a cura di G. Globus et al., 1971; *Consciousness and the Brain*, Plenum, New York, 1976.

[15] Per esempio, come mostrato nel paragrafo 3, una sequenza lineare di goccioline può venire inviluppata in modo tale che il loro ordine venga sottilmente conservato nell'insieme complessivo degli *ensembles* corrispondenti alle goccioline d'inchiostro.

[16] Come mostrato nell''Appendice' al capitolo 6, l'algoritmo fondamentale nell'ordine implicato non è il calcolo differenziale, ma un'algebra.

[17] Per una discussione più dettagliata *vedi* D. Bohm *The Special Theory of Relativity*, Benjamin, New York, 1965, appendice.

[18] *Vedi ibid.*

[19] Questa illusione è essenzialmente la stessa discussa nei capitoli 1 e 2, che ci fa apparire l'intera esistenza come costituita da frammenti fondamentalmente statici.

[20] Sotto certi aspetti questa idea di uno sfondo 'inconscio' è simile a quella di Freud. Tuttavia secondo Freud l'inconscio ha un contenuto relativamente definito e limitato e non è quindi paragonabile all'immensità dello sfondo che qui proponiamo. Forse il 'sentimento oceanico' di Freud si avvicina di più a questa visione che non il suo concetto di inconscio.

[21] Questo corrisponde al requisito quantistico che un elettrone possa passare da uno stato spaziale a un altro senza attraversare gli stati intermedi.

Indice

7 *Una rivoluzione culturale mancata*
di Augusto Sabbadini (Shantena)

UNIVERSO, MENTE, MATERIA

23 Introduzione

32 1. Frammentazione e unità

53 *Appendice: breve discussione sulle forme di percezione dell'unità occidentali e orientali*

62 2. Il 'rheomodo': un esperimento con il linguaggio e con il pensiero

62 *1. Introduzione*
63 *2. Un esame del nostro linguaggio*
68 *3. La forma del rheomodo*
79 *4. Verità e fatto nel rheomodo*
84 *5. Implicazioni del rheomodo per la nostra visione complessiva del mondo*

86 3. La realtà e la conoscenza come processo

86 *1. Introduzione*
88 *2. Pensiero e intelligenza*
92 *3. La cosa e il pensiero*
95 *4. Pensiero e non-pensiero*
102 *5. Il campo della conoscenza come processo*

106 4. I parametri nascosti nella teoria quantistica

106 *1. Caratteristiche principali della teoria quantistica*
108 *2. Limiti al determinismo imposti dalla teoria quantistica*

108 *3. Interpretazione dell'indeterminazione quantistica*
111 *4. Argomenti a favore dell'interpretazione dell'indeterminazione quantistica come irriducibile assenza di legge*
115 *5. La soluzione di Bohr del paradosso di Einstein, Rosen e Podolsky: l'indivisibilità di tutti i processi materiali*
118 *6. Interpretazione preliminare della teoria quantistica in termini di parametri nascosti*
123 *7. Critica della nostra interpretazione preliminare della teoria quantistica in termini di parametri nascosti*
128 *8. Passi verso una più dettagliata teoria a parametri nascosti*
130 *9. Trattazione delle fluttuazioni quantistiche*
132 *10. Il principio di indeterminazione di Heisenberg*
136 *11. L'indivisibilità dei processi quantistici*
141 *12. Significato fisico della quantizzazione dell'azione*
151 *13. Esperimenti atti a sondare il livello subquantico*
156 *14. Conclusione*

160 5. La teoria quantistica come indicazione di un nuovo ordine nella fisica
160 Parte A: Lo sviluppo di nuovi ordini nella storia della fisica
160 *1. Introduzione*
164 *2. Che cos'è l'ordine?*
168 *3. La misura*
169 *4. La struttura come sviluppo basato su ordine e misura*
171 *5. Ordine, misura e struttura nella fisica classica*
173 *6. La teoria della relatività*
179 *7. La teoria quantistica*

194 6. La teoria quantistica come indicazione di un nuovo ordine nella fisica
194 Parte B: Ordine implicato ed esplicato nelle leggi fisiche
194 *1. Introduzione*
198 *2. Totalità indivisa: la lente e l'ologramma*
202 *3. Ordine implicato ed esplicato*

205 *4. L'olomovimento e i suoi aspetti*
212 *5. La legge nell'olomovimento*
214 *Appendice: ordine implicato ed esplicato nelle leggi fisiche*

231 7. L'inviluppo-sviluppo dell'universo e la coscienza
231 *1. Introduzione*
231 *2. Contrapposizione fra ordine meccanicistico in fisica e ordine implicato*
239 *3. L'ordine implicato e la struttura generale della materia*
247 *4. La teoria quantistica come indicazione di un ordine implicato multidimensionale*
251 *5. La cosmologia e l'ordine implicato*
256 *6. L'ordine implicato, la vita e la forza della necessità complessiva*
259 *7. La coscienza e l'ordine implicato*
271 *8. La materia, la coscienza e il loro fondamento comune*

COMUNE DI BOLOGNA
BIBLIOTECA
SALA BORSA